



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp
Fakultet for biovitenskap

Frøutvikling og modning av åkerbønne (*Vicia faba* L.) under norske dyrkingsforhold

Seed development and maturation of faba bean
(*Vicia faba* L.) under Norwegian growth conditions

Anniken Fure Stensrud
Plantevitenskap

Forord

Etter en bachelorgrad i Plantevitenskap etterfulgt av to år på mastergradstudiet Plantevitenskap retning Planteproduksjonssystemer ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet NMBU i Ås, avslutter jeg med denne masteroppgaven om frøutvikling og modning av åkerbønne under norske dyrkingsforhold.

Masteroppgaven er skrevet i forbindelse med det norske prosjektet FoodProFuture, ledet av professor Anne Kjersti Uhlen ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, institutt for plantevitenskap. Det har vært et spennende, og ikke minst følte som et viktig prosjekt å være en del av, og jeg har lært mye.

Jeg ønsker å gi en stor takk til min hovedveileder Anne Kjersti Uhlen (NMBU) for alt engasjement med min oppgave, gode diskusjoner og hjelp og støtte hele veien. Jeg vil også takke min medveileder Anne Marthe Lundby (NIBIO) for den grundige datainnsamlingen fra forsøkene på Apelsvoll og for verdifulle råd og innspill underveis. Alle de hyggelige Teams-møtene med dere har vært viktig for meg, og bidratt til å holde disiplinen og motivasjonen oppe gjennom hele prosessen. Takk til avdelingsingeniør Karin Svinnset (NMBU) for den grundige datainnsamlingen fra forsøkene på Vollebakk og for at du viste meg hvordan forsøkene ble utført i praksis.

Til slutt vil jeg takke mannen min Eirik for hjelp med korrekturlesing, motivasjon og støtte gjennom hele prosessen og vår lille datter Iris for å ha bidratt med god pauseunderholdning på hjemmekontoret.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Oslo, 28. mai 2021
Anniken Fure Stensrud

Sammendrag

Åkerbønne (*Vicia Faba* L.) er en vekst med lang veksttid, noe som kan by på utfordringer ved dyrking i Norge. Målet med denne oppgaven var å undersøke frøutviklingen og modningsforløpet i åkerbønne under norske dyrkingsforhold, hvor både effekten av værforhold, startgjødsling og frøinokulering (smitting) med *Rhizobium*-bakterier ble undersøkt. I regi av prosjektet FoodProFuture ble det utført fire feltforsøk med sorten 'Vertigo' på følgende steder og år: Apelsvoll i 2018 (A18); Apelsvoll i 2019 (A19); Vollebekk i 2019 (V19); og Vollebekk i 2020 (V20). Følgende forsøksbehandlinger ble utført: Smittet, gjødslet (B1); smittet, ikke gjødslet (B2); ikke smittet, gjødslet (B3); og ikke smittet, ikke gjødslet (B4). Under belg- og frøutviklingsfasen og fram til hele feltet ble høstet, ble det gjort ukentlig innsamlinger av belgprøver for å studere modningsforløpet til frøene. Frøenes friskvekt (FW), tørrvekt (DW), vanninnhold (RWC), hvilket nodium-nummer første belg ble dannet fra og antall frø per belg ble analysert. Resultatene viste at: 1) startgjødsling ikke har signifikant effekt på frøutviklingen og modningsforløpet til åkerbønne; 2) frøinokulering med *Rhizobium*-bakterier ikke har signifikant effekt på frøutviklingen og modningsforløpet til åkerbønne; 3) værforhold har signifikant effekt på frøutviklingen og modningsforløpet til åkerbønne, hvor: a) modningsforløpet delvis kan beskrives i forhold til varmesum fra begynnende blomstring til fysiologisk modning, dersom det ikke er for kaldt og vått i modningsfasen; b) høyere temperatur gir raskere modning og raskere nedgang i vann; og c) mot modningsfasen når stofftransporten i frøene stopper opp, vil frøenes vanninnhold være avhengig av værforholdene. Dersom tørkeforholdene er gode, kan RWC synke raskt i perioden etter at fysiologisk modning er passert, og frøene blir raskt høsteklare. Ved kjølige og fuktige forhold i perioden etter fysiologisk modning kan RWC gå opp igjen. Resultatene antyder at fysiologisk modning i åkerbønne inntreffer ved 42-46% RWC. Antall belger som utvikles er mer avgjørende for avlingen enn antall frø per belg og frøenes størrelse. Det ble ikke funnet noen sammenheng mellom hvilket nodium første belg ble dannet fra, og behandling, værforhold eller modningsforløpet. Sorten 'Vertigo' trengte i disse forsøkene en varmesum på i snitt 1803°d fra såing til fysiologisk modning, men det var stor variasjon på feltene fra 1638°d for felt A18 (tørkeåret) til 1992°d for felt A19 (kjølig i modningsfasen). Dataene kan være til hjelp for å vurdere det aktuelle dyrkingsområdet for 'Vertigo' i Norge.

Abstract

Faba bean (*Vicia Faba* L.) can be a challenging crop to cultivate in Norway due to its long growing time. The aim of this thesis was to investigate the seed development and maturation process of faba bean under Norwegian growth conditions where the effect of climate, start fertilisation, and seed inoculation with Rhizobium bacteria was investigated. Under the auspices of the FoodProFuture project, four field trials were carried out with the variety 'Vertigo' in the following places and years: Apelsvoll 2018 (A18); Apelsvoll 2019 (A19); Vollebekk 2019 (V19); and Vollebekk 2020 (V20). The following experimental treatments were executed: Inoculated, fertilised (B1); inoculated, not fertilised (B2); not infected, fertilised (B3); and not infected, not fertilised (B4). During the pod and seed development phase and until the entire field was harvested, weekly pod samples were taken to study the maturation process of the seeds. The fresh weight (FW), dry weight (DW) and moisture content (RWC) of the seeds, which nodium number first pod was formed from and the number of seeds per pod were analysed. The results showed that: 1) seed inoculation with Rhizobium bacteria does not have a significant effect on the development and maturation of faba bean; 2) start fertilization does not have a significant effect on the development and maturation of faba bean; 3) weather conditions have significant effect on the development and maturation of faba bean, where: a) the maturation process can partly be described in relation to the heat sum from the beginning of flowering to physiological maturation, if it is not too cold and wet during the maturation phase; b) higher temperatures speed up the seed maturation process and the decline in RWC; and c) after physiological maturity when nutrient loading into the seeds have stopped, the RWC of the seeds will depend on the weather conditions. Under warm and dry weather conditions, the RWC will decrease rapidly after the physiological maturation has passed, and the seeds will quickly be ready for harvest. In cool and humid conditions in the period after physiological maturation, RWC may increase. The results suggests that physiological maturation of faba bean occurs at 42-46% of RWC. The number of pods that develop is more important in determining the yield than the number of seeds per pod and the seed size. No association was found between which nodium the first pod was formed from, treatment, weather conditions or the maturation process. The variety 'Vertigo' needed an average heat sum of 1803°d from sowing to physiological maturation in these experiments, but there was great variation in the fields, from 1638 for field A18 (drought year) to 1992°d for field A19 (cool in the maturation phase). The data can be helpful in assessing the relevant cultivation area for 'Vertigo' in Norway.

Innholdsfortegnelse

FORORD	1
SAMMENDRAG	2
ABSTRACT	3
1. INTRODUKSJON	6
1.1. BAKGRUNN OG MOTIVASJON	6
1.2. FORMÅL OG FORSKNINGSPØRSMÅL	7
1.3. HYPOTESER	7
1.4. OPPBYGGING AV OPPGAVEN	7
2. TEORI	9
2.1. <i>Vicia faba</i> – ÅKERBØNNE	9
2.2. ÅKERBØNNE SOM MENNESKEMAT	10
2.3. PLANTENS RESPONS PÅ KLIMATISKE FAKTORER	11
2.3.1. <i>Lave temperaturer</i>	11
2.3.2. <i>Høye temperaturer</i>	11
2.3.3. <i>Tørke</i>	12
2.4. VIKTIGE SKADEGJØRERE PÅ ÅKERBØNNE	12
2.5. DYRKINGSPRAKSIS I NORGE	13
2.5.1. <i>Sortsvalg</i>	13
2.5.2. <i>Jordforhold</i>	13
2.5.3. <i>Vekstskifte</i>	14
2.5.4. <i>Såmengde</i>	15
2.5.5. <i>Så- og høstetidspunkt</i>	15
2.6. POTENSIALET FOR DYRKING AV ÅKERBØNNE I NORGE	16
2.7. PLANTEUTVIKLING OG MODNINGSFYSIOLOGI	17
2.7.1. <i>Frøspiring</i>	19
2.7.2. <i>Rotutvikling</i>	20
2.7.3. <i>Bladutvikling</i>	20
2.7.4. <i>Formering av sideskudd og strekningsvekst</i>	21
2.7.5. <i>Blomstring</i>	21
2.7.6. <i>Belgutvikling</i>	23
2.7.7. <i>Frøutvikling</i>	23
2.7.8. <i>Modning</i>	29
3. MATERIELL OG METODE	30
3.1. FORSØKSDESIGN FELTFORSØK VOLLEBEKK OG APELSVOLL	30
3.2. KUNSTIG VANNING	30
3.3. UTTAK AV BELGER OG FRØ FRA ÅKERBØNNE	31
3.4. ANALYSE AV FRISKVEKT, TØRRVEKT OG VANNINNHOLD	31
3.5. ANALYSE AV VÆRDATA OG KALKULERING AV VARMESUMMER	31
3.6. DATABASEHANDLING OG STATISTISK ANALYSE	32
4. RESULTATER OG DISKUSJON	33
4.1. SAMMENLIKNING AV VÆRFORHOLD	33
4.2. RESULTATER OG DISKUSJON AV HVERT FELT	36
4.2.1. <i>Apelsvoll 2018</i>	37
4.2.2. <i>Apelsvoll 2019</i>	39
4.2.3. <i>Vollebekk 2019</i>	42
4.2.4. <i>Vollebekk 2020</i>	43
4.3. SAMMENSTILLING OG SAMMENLIKNING AV RESULTATER FRA ALLE FELTER	45
4.4. OPPSUMMERENDE DISKUSJON	49
5. KONKLUSJON	52

6. LITTERATURLISTE	53
VEDLEGG	58
VEDLEGG 1. BEHANDLING, ALLE FELTER	58
VEDLEGG 2. APELSVOLL 2018	58
VEDLEGG 3. APELSVOLL 2019	59
VEDLEGG 4. VOLLEBEKK 2019.....	60
VEDLEGG 5. VOLLEBEKK 2020.....	61
VEDLEGG 6. VARIANSANALYSER FOR APELSVOLL 2018.....	63
VEDLEGG 7. VARIANSANALYSER FOR APELSVOLL 2019.....	65
VEDLEGG 8. VARIANSANALYSER FOR VOLLEBEKK 2019	67
VEDLEGG 9. VARIANSANALYSER FOR VOLLEBEKK 2020	69
VEDLEGG 10. VARIANSANALYSER FOR FELTER SAMMENSTILT	71
VEDLEGG 11. BEHANDLING, FELTER SAMMENSTILT	78

1. Introduksjon

1.1. Bakgrunn og motivasjon

Innen 2050 vil vi trenge 265 millioner tonn mer proteiner hvert år for å fø verdens befolkning. I tillegg skal produksjonen være bærekraftig, mest mulig miljøvennlig og minst mulig ressurskrevende. Det er ingen liten oppgave vi står ovenfor. Men hvor skal vi begynne?

- Liv Jorunn Hind, NIBIO (2017)

Wendy Waalen, forsker og leder for Avdeling korn og frøvekster i NIBIO, mener at noe av løsningen er å dyrke mer erter og åkerbønner i Norge. Disse belgvekstene har et høyt proteininnhold og kan være et godt alternativ til importerte proteiner både til dyrefôr og menneskemat. I dag blir kun én prosent av kornarealet i Norge brukt til dyrking av erter og åkerbønner. Wendy Waalen mener at det er potensiale for å øke denne produksjonen (Hinn, 2017).

Mengden og kvaliteten på proteinråvarer som importeres til Norge varierer fra år til år, avhengig av landets årlige avlinger. I dag brukes mesteparten av norskproduserte belgvekster og oljevekster til kraftfôr, med unntak av produksjonen av konservesert (frosne, hermetiserte) og en andel av rapsproduksjonen som brukes til rapsolje. Andelen protein som brukes i kraftfôret har økt over tid, og mesteparten av disse proteinråvarene, som i hovedsak er soya og rapspelletts, importeres (Abrahamsen et al., 2019). I 2019 ble 403 827 tonn soyabønner importert til Norge, hovedsakelig fra Brasil (FAOSTAT, 2019).

Blant norske forbrukere er det en økende interesse for plantebaserte produkter i kostholdet (Bugge & Alfnes, 2018). Det har kommet mange nye kjøtterstatningsprodukter på det norske markedet de siste årene. Disse er importerte eller basert på importerte planteproteiner, hovedsakelig fra soya, erter, linser, kikerter og ulike typer av bønner (Abrahamsen et al., 2019).

Åkerbønne har et høyt proteininnhold sammenliknet med erter, oljevekster og korn. Ved å dyrke mer åkerbønner i Norge kan deler av behovet for importerte belgvekster til menneskemat og dyrefôr reduseres. En utfordring ved å dyrke åkerbønne i Norge er at det er en vekst som trenger lang tid for å nå modning. Det trengs mer kunnskap om frøutvikling og modning av åkerbønne under norske forhold som kan gi både kjølige og raskt synkende temperaturer og hyppig nedbør.

FoodProFuture: Innovativ og bærekraftig utnyttelse av planteproteiner i fremtidens matprodukter, er et norsk prosjekt som har som mål å utvikle en kunnskapsplattform for å produsere råvarer fra planter og prosessere disse til smakfulle, sunne og attraktive matvarer med høyt proteininnhold. Forskningen skal gjøre det mulig for norsk matindustri å produsere høykvalitets og bærekraftige plantebaserte alternative matvarer.

1.2. Formål og forskningsspørsmål

Overordnet mål er å bidra til måloppnåelse i FoodProFuture, som er å undersøke potensialet for dyrking og prosessering av plantebaserte matprodukter med høyt proteininnhold. Dette inkluderer forskning på hvor og hvordan produksjonsvolumet av åkerbønne kan økes, og gi verdiskapning også i primærleddet, dvs. for den norske bonden.

Hensikten med denne masteroppgaven er å studere modningsforløpet i åkerbønne under norske dyrkingsforhold, inkludert værforhold og dyrkingstekniske faktorer (startgjødsling, frøinokulering med *Rhizobium*) som kan påvirke planteutvikling og dermed tidspunkt for modning.

Dette leder meg frem til følgende forskningsspørsmål:

Hvordan foregår frøutviklingen og modningsforløpet til åkerbønne (*Vicia faba* L.) under norske dyrkingsforhold?

1.3. Hypoteser

For å bryte ned forskningsspørsmålet vil følgende hypoteser bli undersøkt:

1. Start-gjødsling har signifikant påvirkning på frøutviklingen og modningsforløpet til åkerbønne
2. Frøinokulering med *Rhizobium*-bakterier har signifikant påvirkning på frøutviklingen og modningsforløpet til åkerbønne
3. Værforhold har signifikant påvirker frøutviklingen og modningsforløpet til åkerbønne:
 - a. Modningsforløpet kan beskrives i forhold til varmesum fra begynnende blomstring til modning
 - b. Høyere temperaturer gir raskere modning og raskere nedgang i vann
 - c. Mot modningsfasen når stofftransporten stopper opp, vil frøets vanninnhold være avhengig av værforholdene.

For å teste disse hypotesene ble resultater fra feltforsøk med åkerbønne 'Vertigo' fra to lokasjoner i Sør-Øst-Norge over to år undersøkt.

1.4. Oppbygging av oppgaven

Opgaven er bygget opp i fem hovedkapitler: Introduksjon, teori, materiell og metode, resultater og diskusjon, og konklusjon. Teorikapitlet starter med en introduksjon om åkerbønne og åkerbønne som menneskemat, for deretter å redegjøre for plantens respons på ulike miljøfaktorer, viktige skadegjørere, dyrkingspraksis i Norge, og hva forskningen foreløpig sier om potensialet for dyrking av åkerbønne i Norge. Kapitlet avsluttes med en detaljert beskrivelse av planteutvikling og modningsfysiologi og hva som påvirker de ulike stadiene. Materiell- og metodekapitlet starter med en beskrivelse av feltforsøkene, for så å gå nærmere inn på hvordan datasettene fra forsøkene er blitt analysert. Resultater- og diskusjonskapitlet starter med å vise en oversikt over værforhold fra alle feltene. Deretter blir værdata og resultater fra uttakene for hvert felt presentert, og frøutviklingen blir diskutert opp imot værdataene. Så blir resultater fra alle felter sammenstilt presentert,

sammenliknet og diskutert. Kapitlet avsluttes med en oppsummerende diskusjon. Hele oppgaven avsluttes med konklusjon.

2. Teori

2.1. *Vicia faba* – Åkerbønne

Åkerbønne, *Vicia faba* L., er en ettårig kjernebelgvekst i vikkeslekta i erteblomstfamilien. Den stammer fra Midtøsten og Middelhavsbasen og har vært dyrket i omlag 8-10 000 år (Zohary & Hopf, 2000). På norsk er den kjent under navnene åkerbønne, hestebønne, bondebønne, bønnevikke og velsk bønne (Sunding, 2020). I denne oppgaven brukes navnet åkerbønne gjennomgående. Det er stor genetisk variasjon i åkerbønne, og den er ofte beskrevet på grunnlag av forskjeller i frøenes vekt, form og størrelse. I landbrukssammenheng grupperes den som regel etter frøstørrelse; storfrøede (>1.0 g/frø), mediumfrøede (1.0-0.5 g/frø) og småfrøede (<0.5 g/frø) (López-Bellido et al., 2005). Det skilles også mellom vårsådde og høstsådde sorter som er tilpasset såing henholdsvis på våren og høsten (Duc et al., 2015).

Åkerbønne dyrkes i store deler av verden som mat og fôr, og er en viktig kilde til høykvalitets protein, kostfiber og andre verdifulle næringsstoffer (Khazaei & Vandenberg, 2020). Ifølge FAOSTAT (2019) er åkerbønne den fjerde mest dyrkede kuldetolerante belgveksten globalt etter erter (*Pisum sativum* L.), kikerter (*Cicer arietinum* L.) og linser (*Lens culinaris* Medik.) med en årlig produksjon på rundt 4,5 millioner tonn fra et areal på nesten 2,5 Mha. De tre største produsentene er Kina, Etiopia og Australia, som til sammen står for nesten 65% av all produksjonen i verden. Nord-Europa står for mindre enn 5% av totalproduksjonen (FAOSTAT, 2019).

Åkerbønne har et høyt avlingspotensial sammenliknet med andre kjernebelgvekster (Cernay et al., 2015). Spesielt ved lave temperaturer overgår den ellers produktive belgvekster som soyabønne ved at den er tilpasset et kjøligere klima (Temesgen et al., 2015). Som de fleste andre belgvekster kan den i symbiose med bakterien *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* produsere nitrogenfikserende rotnoduler og omdanne luftas nitrogen til plantetilgjengelig ammonium. Slik kan den bidra til å øke nitrogeninnholdet i jorda og anses derfor som en verdifull forgrøde og et miljøvennlig alternativ til mineralgjødsel (Serikstad et al., 2013). Ved bruk av sorter som kan høstes tidlig nok til at høstkornet kan sås på samme areal, vil kornet kunne nyttiggjøre seg næringen fra belgvekstene i jorda, noe som gir økt kornavling (Hinn, 2017). Dyrking av belgvekster i vekstskifte med korn kan derfor være svært lønnsomt. «Det er rett og slett god agronomi» sier Wendy Waalen, Forsker ved NIBIO (2017). Åkerbønne har stor tilpasningsevne, nitrogenfikserende egenskaper, høyt næringsinnhold og høyt avlingspotensial, og dette gjør den til en utmerket proteinvekst.

Likevel har praktisk dyrkning vist at åkerbønne er lite avlingsstabil som gjør at avlingspotensialet i varierende grad blir nådd. Det diskuteres om dette kan skyldes forhold knyttet til blomstring og frøsetting, som stor frekvens av abortering av blomster, ikke optimal balanse mellom antall frø og belger som utvikles fra ulike nodier, og kapasiteten planten har til å utvikle og fylle disse. Plantens symbiotiske forhold med bakterien *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* kan også ha en betydning for avlingene. Effektiv nitrogenfiksering innebærer at det er tilstrekkelig med bakterier til stede i jorda, at disse er effektive og at jordforholdene er gunstige, blant annet med optimal pH. Åkerbønne har både selvbefruktning og kryssbefruktning, og dette kan variere med sorter. Kryssbefruktning kan skje med vind, likevel viser mange undersøkelser at pollinerende insekter, spesielt fra ville bier, kan bidra til økt frøsetting. En rekke biotiske og abiotiske stressfaktorer har også

en stor innvirkning på avlingen (O'Sullivan & Angra, 2016). I tillegg må det også nevnes at det er blitt satset betydelig mindre på sortsforedling i åkerbønne enn på blant annet korn, som gjør at det ikke finnes tilstrekkelig robuste sorter som for kornartene.

2.2. Åkerbønne som menneskemat

Åkerbønne har vært en viktig matvare i årtusener, utbredt i Middelhavsområdet, inkludert kontinentale områder som Irak, Syria, Iran, og i Nordvest-India, Pakistan og Sør-Kina. Det høye innholdet av protein og stivelse i frøene er en av hovedårsakene til denne omfattende bruken. Senere studier har vist til helsemessige fordeler med å spise åkerbønnefrø fordi de, i likhet med andre kjernebelgvekster, også er en god kilde til fiber og ulike vitaminer og mineraler (Crépon et al., 2010).

Stivelse er den største bestanddelen i åkerbønnefrø, etterfulgt av proteiner og nøytralt løselig fiber (NDF). Ivarsson og Neil (2018) studerte næringsinnholdet til en rekke sorter dyrket i Sverige. I prosent av tørrstoff lå stivelsesinnholdet på 37.1-40.1%, proteininnholdet på 29.0-34.2% og NDF-innholdet på 10.9-12.6%.

Åkerbønnens høye proteininnhold og andre næringsstoffer gjør den til et godt alternativ til å spise kjøtt. En plantebasert diett er mer bærekraftig enn en diett rik på dyreprodukter fordi den bruker mange færre naturressurser og er mindre belastende på miljøet (Sabate & Soret, 2014). Proteinleveringseffektivitet er et mål på hvor mye matproteiner som kan produseres per energienhet. Proteinleveringseffektiviteten til åkerbønne ligger på rett i underkant av 60 g protein/MJ, mens det på kjøtt ligger på mellom 5-10 g protein/MJ avhengig av type kjøtt (Sabate & Soret, 2014). Det er altså 6-12 ganger mer energieffektivt å dekke proteinbehovet gjennom konsum av åkerbønne enn kjøtt. Det har også vist seg å være mer miljøvennlig å dyrke åkerbønne sammenliknet med andre proteinrike vekster. Korsæth og Roer (2016) utførte en livsløpsanalyse (LCA) på dyrking av åkerbønne, erter og høstvetete på en typisk korngård i Rakkestad. Det globale oppvarmingspotensialet (GWP) ved dyrking av åkerbønne var lavere enn erter og høstvetete, målt i CO₂-ekvivalenter (ekv.) per kg protein. For åkerbønne var GWP 0,80 kg CO₂-ekv. per kg lagringsklart produkt (85% tørrstoff) og 3,1 kg CO₂-ekv per kg protein. Med protein som benevnelse var utslippene fra erteproduksjonen 60% høyere enn de fra produksjonen av åkerbønner. Til sammenlikning var GWP for tradisjonelt fora gris i Stange 7.6 kg CO₂-ekv. per kg protein (Johansen & Hjelkrem, 2018). Dyrking og konsumering av åkerbønne er altså svært miljøvennlig sammenliknet med kjøtt og noen andre proteinrike vekster.

Antinæringsstoffer er naturlig forekommende forbindelser i spiselige frø, og finnes i alle belgfrukter, inkludert åkerbønnefrø. Antinæringsstoffene bidrar til å redusere frøenes næringsverdi ved å påvirke næringsutnyttelsen under fordøyelsen, spesielt av proteiner, vitaminer og mineraler, ved å binde seg til disse forbindelsene og dermed redusere absorpsjonen i mage-tarmkanalen (Soetan & Oyewole, 2009). De to hoved-antinæringsstoffene i åkerbønnefrø er kondenserte tanniner (garvestoffer) og pyrimidin glykosidene vicin og convicin (v/cv) (Duc et al., 1999). v/cv kan forårsake favisme hos mennesker som har en genfeil som gjør at de mangler evnen til å syntetisere glukose-6-fosfatdehydrogenase. For enmagede dyr kan disse forbindelsene gi redusert næringsopptak (Khazaei & Vandenberg, 2020). Kondenserte tanniner er en gruppe kjemiske stoffer som

finnes primært i frøskallet til åkerbønne. Sorter med fargede blomster har et høyere innhold tanniner enn sorter med hvite blomster (Duc et al., 1999; Ivarsson & Neil, 2018). Selv om de er betraktet som antinæringsstoffer i fôr da de reduserer fordøyeligheten til protein og stivelse i enmagede dyr (Crépon et al., 2010), tilhører de klassen polyfenoler og har også vist gunstige effekter for mennesker (Chung et al., 1998).

2.3. Plantens respons på klimatiske faktorer

Temperatur er hovedfaktoren som kontrollerer hastigheten på planteutviklingen, etterfulgt av fuktighet og daglengde (Iannucci et al., 2008). Åkerbønne er kuldetolerant og vokser best i relativt kaldt og fuktig klima, noe som gjør den til en svært attraktiv vekst å dyrke der hvor for eksempel soyabønne ikke trives (Duc et al., 2015). Den optimale temperaturen for åkerbønne under vegetativ utvikling, er ifølge Lidon et al. (2001) 12-20°C. Varmesommer er nyttig for å beskrive planteutviklingen og forutsi perioden fra såtid til spesifikke fenologiske utviklingsstadier (Stoddard et al., 2011). Plantens respons på lave og høye temperaturer og tørke blir beskrevet mer detaljert under.

2.3.1. Lave temperaturer

Lave temperaturer regnes som en av de viktigste miljøfaktorene som forårsaker betydelig avlingstap i åkerbønne ved å påvirke plantevekst og produktivitet (Thakur et al., 2010). Kuldestress kommer enten av frost (<0°C) som gjør at det blir dannet iskrystaller i plantevevet, eller kjølige temperaturer fra 0-12°C som gjør at planten visner som følge av vanntap i plantevevet (Alharbi & Adhikari, 2020).

Kuldestress forårsaket av frost kan skje under alle utviklingstrinnene i planten, og skadeomfanget kommer an på alvorlighetsgraden av frost, eksponeringsperiode, frostfrekvensen, plantens sensitivitet til frost og utviklingsstadium (Hawthorne, 2007).

Sensitiviteten til kjølige temperaturer fra 0-12°C varierer stort både innen og mellom ulike sorter og typer, men åkerbønne er som nevnt generelt relativt kuldetolerant (Alharbi & Adhikari, 2020). Den reproduktive fasen er mest sensitiv for kjølige temperaturer, ved å påvirke: (i) blomstring ved å forsinke blomstringen eller at blomster aborter; (ii) hannlig gametofyttutvikling ved å forårsake pollen-sterilitet; (iii) hunnlig gametofyttutvikling ved å eksempelvis forstyrre meiosen; og (iv) kornfylling ved å føre til dårlig fylte eller ufylte og aborterte frø (Thakur et al., 2010).

2.3.2. Høye temperaturer

Varmestress er forårsaket av en temperaturøkning i en viss periode over en kritisk terskel, noe som skader vekst og utvikling av planten. Generelt er blomster svært sensitive for varme, spesielt om natten (Alharbi & Adhikari, 2020). Det skilles mellom to ulike typer varmessjokk: varmessjokk som er forårsaket av skadelig høye temperaturer over en kort periode (minutter eller timer), og moderat varmessjokk som er forårsaket av temperaturer over det som er optimalt for en lengre periode (Alharbi & Adhikari, 2020). Varmestress kan

føre til abortering av blomster, redusert antall frø per belg, lavere frøvekt, redusert rotnodulering og N-fiksering og visning av nedre blader (Saxena et al., 1988).

Åkerbønne er svært sensitiv til varmestress, og daglige gjennomsnittstemperaturer over 25°C kan føre til signifikante avlingstap (Wahid et al., 2007). Åkerbønne slutter å blomstre når dagtemperaturen nærmer seg 30°C (Matthews & Marcellos, 2003). Høye temperaturer kan påvirke åkerbønneplantens biokjemiske og fysiologiske egenskaper, for eksempel ved å redusere veksthastigheten, gi membraninstabilitet og redusere netto assimilasjonsrate (Lavania et al., 2015).

2.3.3. Tørke

Tørke er den vanligste abiotiske stressfaktoren som påvirker avlingen til belgvekster, etterfulgt av varme og kulde (Alharbi & Adhikari, 2020). Når planten blir utsatt for ugunstige temperaturer og tørkestress samtidig, blir skadeomfanget større enn hver for seg. Tørkestress er generelt mer skadelig enn varmestress. Tørkestress fører til redusert tørrstoffproduksjon, som induserer endringer i fordeling av assimilater, hvorav mer blir sendt ned til røttene for økt rotvekst. I tillegg fører tørkestress til redusert fotosynteserate, klorofyllinnhold, bladareal og frøavling, og økt respirasjonsrate (Alharbi & Adhikari, 2020).

Åkerbønne er svakere mot tørke enn erter, selv om den har en kraftig pælerot. Det skyldes at de har en liten andel finrøtter og derfor har en mindre rotoverflate til å ta opp vann, og at de har svært stor bladmasse som fordamer mye vann (Øverland, 2020).

Soyabønne og kikerter er mer sensitiv for tørkestress i den reproduktive fasen enn i den vegetative fasen som følge av abortering av blomster og belger og reduksjon i frøstørrelse som fører til høyere avlingstap (Samarah, 2016). Det er grunn for å tro at det samme gjelder åkerbønne. Sekara et al. (2001) observerte en økning i antall blomster hos åkerbønne under tørkestress, mens antall belger og frø ble redusert grunnet høy aborteringsrate.

2.4. Viktige skadegjørere på åkerbønne

Åkerbønne er vert for en rekke skadegjørere som kan redusere avlingene drastisk. Sjokoladeflekk (Figur 2.4), forårsaket av soppene *Botrytis cinera* og *Botrytis fabae*, er den mest tapsbringende sykdommen på åkerbønne i verden (Stoddard et al., 2010). Soppen angriper stengel og blad (Øverland, 2020). Begge soppartene kan forårsake symptomer, men *B. fabae* regnes som den mest aggressive arten (Stoddard et al., 2010). I Norge er det blitt dokumentert avlingstap på 20 til 100% som følge av denne sykdommen (Øverland, 2008). Tidlige sorter ser generelt ut til å være mer utsatt for bladsykdommer (Abrahamsen & Waalen, 2020). Alvorlighetsgraden av sjokoladeflekk kommer ofte an på værforholdene rundt blomstring. Dagens strategi for å redusere risikoen for utbrudd av sjokoladeflekk er basert på lang vekstrotasjon, pløying



Figur 2.4. Utviklet angrep av sjokoladeflekk på åkerbønne. Bildet er hentet fra Øverland (2020)

etter høsting og bruk av soppdrepende midler. Imidlertid er sykdommen fortsatt en stor utfordring, og mer kunnskap kreves som en del av en integrert plantevern-strategi (IPM).

Ertesnutebille (*Sitona lineatus*) er det viktigste skadedyret på belgvekster. De siste årene har ertesnutebille blitt stadig mer vanlig å finne på åkerbønne og erter i Norge. Det er først og fremst de jordboende larvene som gjør størst skade. De spiser på rotknollene som fører til at plantas evne til nitrogenfiksering blir redusert (Vankosky et al., 2009). Det er vanskelig å gjøre effektive tiltak mot dette skadedyret på grunn av dens kompliserte livssyklus, og godkjente kjemiske midler finnes ikke i Norge. Studier fra andre europeiske land har vist at dyp og sen såing kan redusere skadeomfanget (Zhang et al., 2006), men dette kan være en risikabel strategi i områder med kort vekstsesong. Valg av sort ser ut til å spille en viktig rolle for at denne strategien skal fungere i Norge, men dette bør undersøkes nærmere.

2.5. Dyrkingspraksis i Norge

For å lykkes med dyrking av åkerbønne i Norge er det flere faktorer som er viktig å vurdere, som valg av sort tilpasset nordiske forhold, jordforhold, vekstskifte, såmengde og så- og høstetidspunkt. Disse faktorene blir beskrevet mer i detalj under.

2.5.1. Sortsvalg

Åkerbønne har et bredt sortsmangfold med variasjoner i veksttid, vernaliseringskrav, fotoperiodisk respons, avlingspotensiale, morfologi, frøstørrelse, sykdomsresistens, klimatilpasning og innhold av næringsstoffer og antinæringsstoffer. De er enten dagnøytrale eller langdagsplanter (Patrick & Stoddard, 2010). Riktig blomstringstid er essensielt for valg av sort tilpasset et klima. Blomstringen kan ikke starte før risikoen for frost har gitt seg, og må avsluttes tidlig nok til at belgene rekker å modne og bli høsteklare før frost eller tørke, avhengig av klima (Patrick & Stoddard, 2010).

Forsøk i Norge har vist at de småfrøede sortene modner tidligere enn de storfrøede. Dette gjør dem bedre egnet for dyrking i større deler av kornområdet i Norge, men de gir 10-30% lavere avlinger enn de sene, storfrøede sortene (Abrahamsen & Waalen, 2020). Foreløpige resultater indikerer at å øke såmengden i de tidlige, småfrøede sortene fra den nåværende anbefalingen på 60 til 100 frø/m² kan resultere i bedre ugraskontroll og betydelig høyere avlinger, men virkningen av tettere bestand på legde, sykdommer, modning og kvalitet krever videre forskning (Grieu et al., 2021).

Sorten 'Vertigo' kom på det norske markedet i 2016, og har vært dyrket mest av alle sortene i Norge fra 2017 til 2020. I 2019 ble den dyrket på over 40% av arealet hvor åkerbønne ble dyrket (Abrahamsen & Waalen, 2020). I 2020 ble det dyrket mer av de «tidlige» finske sortene, som totalt kom på 37% av arealet, mens Vertigo hadde et dyrkingsomfang på 32% (Grieu et al., 2021).

2.5.2. Jordforhold

Ved såing av åkerbønne er det avgjørende med god jordstruktur. Bønnene bør såes på 5-7 cm dybde (Øverland, 2020). Åkerbønne trives best i drenert, men tørkesterk jord. Tørkesvak

jord bør unngås om det ikke er mulighet for kunstig vanning. Dersom det skal vannes, er det spesielt viktig å sikre tilstrekkelig vanntilgang i blomstringsfasen for å sikre god frøsetting (Øverland, 2020). Åkerbønne er sårbar mot harde plogsåler, og foretrekker dyp jord med god struktur slik at røttene kan penetrere dypt (Øverland, 2020).

Risikoen for jordpakking i Norge er økende på grunn av en kombinasjon av dårligere drenering, økt nedbør og økt bruk av tunge maskiner. Erter er kjent for å være svært sensitiv til dårlig drenering og jordpakking, da det forårsaker alvorlig avlingstap og ujevn modning og kvalitet (Vocanson et al., 2006). Åkerbønne har vist seg å være mindre sensitiv enn erter, og tåler store nedbørsmengder og vannmetta jord dersom jorda i utgangspunktet er godt drenert (Øverland, 2020). På kompakt jord er det ofte blitt observert redusert nodulering og dårligere plantevekst for åkerbønne (Solaiman et al., 2007). Et studie med soyabønne indikerte at nitrogenfikseringen reduseres ved økt jordpakking (Siczek & Lipiec, 2011).

Sur jord egner seg dårlig for åkerbønne. pH i jorda bør være over 6.0 for at de nitrogenfikserende bakteriene skal trives, og for at næringsstoffer skal være lettere tilgjengelig for planten, noe som er spesielt viktig dersom det ikke skal gjødsles. I tillegg er fosfortilgjengeligheten størst ved pH 6.5 (6.0-7.0) (Øverland, 2020).

Gjødsling har hittil ikke vist seg å ha noen effekt på avlingen, men på næringsfattig jord med lavt humusinnhold kan det lønne seg å gjødsle litt. Mye nitrogengjødsling kan imidlertid hemme Rhizobiumbakteriene. Frøinokulering med Rhizobiumbakterier har det heller ikke så langt vært avlingsutslag for i Norge (Øverland, 2020). Normalt er det tilstrekkelig mengder av Rhizobium-bakterier som går på åkerbønne i dyrkajord i Norge, slik at frøinokulering ikke er nødvendig (Serikstad et al., 2013).

2.5.3. Vekstskifte

Vekstskifte innebærer at man dyrker ulike plantekulturer etter hverandre på samme skifte. Dette er en vanlig strategi i Norge, spesielt i økologisk landbruk for å blant annet bedre jordfruktbarheten og jordstrukturen, og oppnå bedre kontroll på ugras, vekstfølgesykdommer og skadedyr. Åkerbønne er en svært god forgrøde til blant annet mathvete og egner seg godt i økologisk produksjon på grunn av dens nitrogenfikserende egenskaper.

I Norge er det anbefalt å ikke dyrke åkerbønne på samme skifte mer enn hvert 6-7 år (Øverland, 2020). På grunn av jordbårne sykdommer bør ikke oljefrø eller erter være forgrøder. Åkerbønne har foreløpig ikke vist seg å være mottakelig for ertevisnesjuke (*Aphanomyces euteiches*) og angripes ikke eller i svært liten grad av storknolla råtesopp (*Sclerotinia sclerotiorum*) i Norge. Ifølge Øverland (2020) kan de derfor dyrkes i vekstskifte med erter. Rotråtesoppen *Phytophthora erythroseptica* var. *pisi* som går på erter har i Sverige vist seg å kunne gi store skader på åkerbønne. Der anbefales det 8 års vekstskifte med mottakelige verter (Øverland, 2020).

2.5.4. Såmengde

Antall planter per m² er en av de mest fundamentale faktorene som kontrollerer planteproduksjon, og er hovedkomponenten for avlingsutbyttet. Plantetetthet påvirker blant annet planteutvikling, vekst og tørrstoffakkumulering (Alharbi & Adhikari, 2020). Den optimale plantetettheten varierer med klima, jordforhold og sort. Høyere plantetetthet reduserer dannelse av sideskudd og minimerer konkurransen med hovedskuddet. Allikevel kan høyere plantetetthet øke avlingene (Alharbi & Adhikari, 2020).

Ifølge Singh et al. (2013) er den optimale plantetettheten for åkerbønne 20-30 planter/m², avhengig av forholdene. For å oppnå riktig plantetetthet bør man kjenne til 1000-frøvekt og spireprosent. Spireprosenten avhenger av forhold og sort. Dyrkingsveiledningen for åkerbønne fra NLR Viken bruker 90 og 95 som spireprosent (Øverland, 2020). Plantetettheten kan beregnes med følgende formel:

$$\text{Plantetetthet} = \frac{(\text{Ønsket såmengde} * 1000 \text{ frøvekt})}{(\text{Spireprosent} * 10)}$$

I Canada er det blitt anbefalt en såmengde på ca. 45 frø/m² på åkerbønne, mens det i Sverige er blitt anbefalt 60-80 frø/m² (Abrahamsen et al., 2018). I Danmark ble det testet såmengder på 20, 40 og 60 frø/m² for 8 ulike sorter fra 2015-2017. Det ble konkludert med at 60 frø/m² ga best avling og at 40 frø/m² ga det beste dekningsbidraget (Hansen, 2017). I Norge ble det i 2017 testet såmengder på 45 og 60 frø/m² for fire ulike sorter på fem ulike lokasjoner (i Østfold, Romerike, Vestfold, Ås og Apelsvoll). Alle sortene ga høyest avling ved 60 frø/m². Litt legde ble observert i kun to av forsøkene, og den største såmengden ga ingen sikker økning i legde (Abrahamsen et al., 2018). I Vestfold er det allikevel blitt rapportert om at for tett åker kan gi mye legde (Abrahamsen et al., 2018).

2.5.5. Så- og høstetidspunkt

Riktig såtid er viktig for å oppnå god vekst, utvikling og avling. Mye abiotisk og biotisk stress kan bli minimert ved å justere sådatoen slik at de ulike fenologiske utviklingstrinnene forekommer ved passende tidspunkter i forhold til klimatiske forhold (Alharbi & Adhikari, 2020). I Norge er tidlig såing nødvendig for å sikre at frøene modner og kan høstes før det blir for kaldt om høsten. Ifølge Øverland (2020) bør de sene sortene såes innen overgangen april-mai, mens de tidligste sortene kan såes fram til ca. 10. mai. Åkerbønne kan såes når jordtemperaturen i sådybden har nådd 5°C. Planten er relativt frostherdig om våren, og ifølge svenske undersøkelser tåler den temperaturer ned til minst -4°C etter spiring (Øverland, 2020).

Ifølge Øverland (2020) er det ideelle høstetidspunktet for åkerbønne når frøene har 18-20% vanninnhold. Dersom de blir tørrere, vil frøene lettere knuse, og risikoen for soppsmitte øker. Frøene blir ofte høstet med et høyere vanninnhold. En utfordring med høyt vanninnhold (>35%), er at frøene kan bli for store for treskeren. I tillegg kan det bli vanskeligere å tørke frøene (Øverland, 2020).

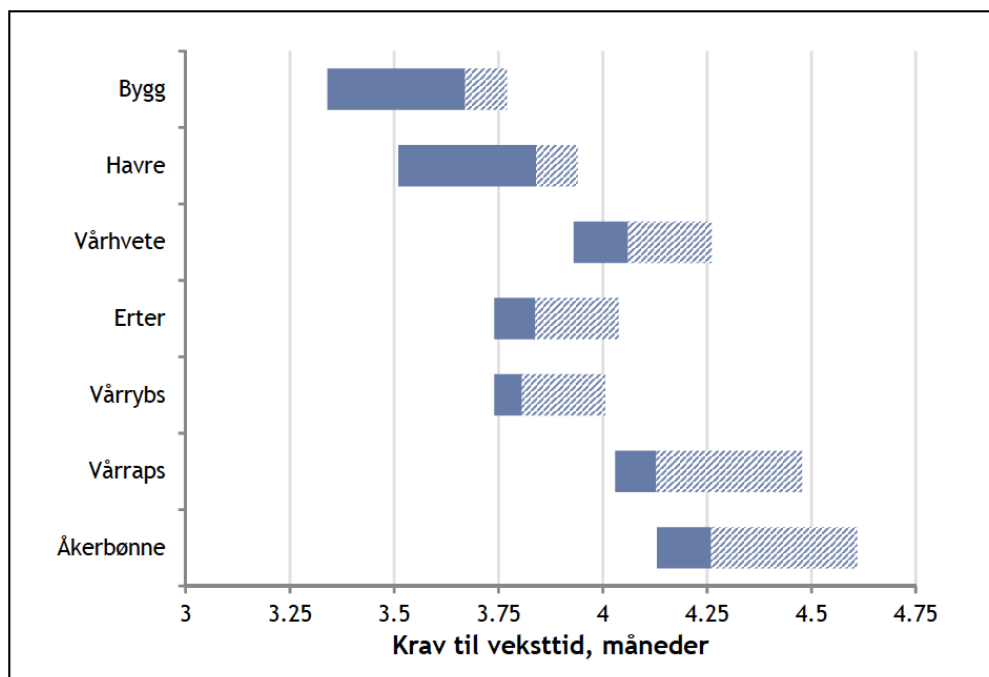
I Norge er det ofte våte forhold om høsten. Dette kan føre til skader på stengel, legde, sprekker i frøene og forsinket høsting. Optimalt høstetidspunkt for å sikre god kvalitet på

avlingen vil bli en større utfordring å finne i et framtidig våtere klima. Det er behov for bedre forståelse av hvordan åkerbønne reagerer på våte forhold sent om høsten med tanke på legde, frøkvalitet, sykdomsutvikling, modning og dvale.

2.6. Potensialet for dyrking av åkerbønne i Norge

I 2020 ble det dyrket om lag 48 000 daa med erter, åkerbønne og andre belgvekster til modning, noe som var betydelig mer enn i 2018 (ca. 28 000 daa) og 2019 (ca. 32 000 daa). Ut ifra såfrøsalget i 2020 kan en anslå at det ble dyrket rundt 30 000 daa med åkerbønne (Grieu et al., 2021).

Sortene som dyrkes i Norge i dag har lang veksttid og modnes sent, noe som kan by på utfordringer. Figur 2.6 er hentet fra Abrahamsen et al. (2019) og viser kravet til veksttid i Norge for ulike vårsådde vekster. Den viser at veksttiden for åkerbønne er betydelig lengre enn for de fleste andre vekstene. I en normal norsk vekstsesong er veksttiden på rundt 4,175-4,25 måneder. I kjøligere sesonger er det blitt antydnet at veksttiden kan øke helt opp til 4,6 måneder.



Figur 2.6. Kravet til veksttid i Norge for ulike vårsådde vekster. Lengden av det blå feltet viser forskjellen mellom tidligste og seneste sort på markedet. De stiplede feltene antyder hvor mye lengre veksttiden kan bli i kjøligere sesonger. Figuren er hentet fra Abrahamsen et al. (2019).

Abrahamsen et al. (2019) estimerte hvor mye av kornarealene i Norge som kunne vært utnyttet til dyrking av åkerbønne. Siden åkerbønne modnes senere enn vårhvete (Figur 2.6), ble det estimert at hovedområdet for dyrking er sør for Oslo, i kystnære strøk. Det maksimale potensialet for å dyrke åkerbønne på dagens kornarealer ble med dette beregnet til 113 300 daa. Dagens gjennomsnittsavling ligger på 350 kg/daa. Det ble lagt til grunn i disse beregningene at det bør gå seks år mellom hver gang det dyrkes belgvekster på samme sted, for å redusere risikoen for vekstfølgesykdommer. Åkerbønne har et gjennomsnittlig proteininnhold på 30% av tørrstoff, som i disse beregningene ga potensiell

produksjon av protein på omtrent 90 kg/daa og en total produksjon i Norge på om lag 10 000 tonn protein årlig fra åkerbønne (Abrahamsen et al., 2019). Det er imidlertid tidligere sorter på vei inn i markedet som har et akseptabelt avlingspotensial. Med disse sortene mener Abrahamsen et al. (2019) at dyrkingsområdet antakelig kan utvides til store deler av arealene der det dyrkes hvete i dag.

Abrahamsen et al. (2019) estimerte at potensiell årlig proteinproduksjon av erter og åkerbønne i Norge til sammen er på ca. 20 000 tonn. Dersom alt dette ble brukt til menneskemat, ville det gitt ca. 3,7 kg protein per person per år for den norske befolkningen. Dermed ville det kunne erstatte en betydelig mengde protein fra animalske kilder. Imidlertid kan det ikke antas at hele proteinavlingen fra erter og åkerbønner er av god nok kvalitet til å bli brukt til menneskemat, og i tillegg vil noe protein bli tapt under prosesseringen (Abrahamsen et al., 2019).

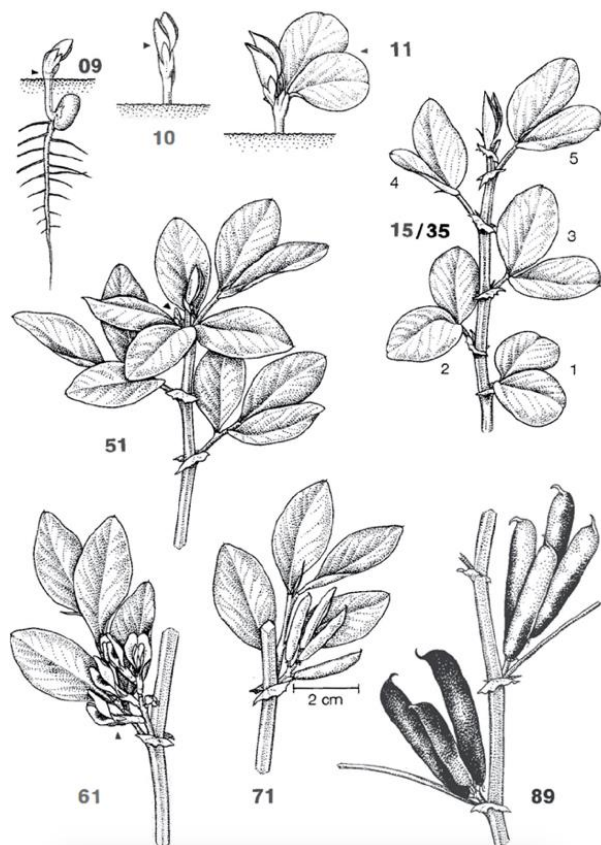
For å få en bedre forståelse av hva som påvirker veksttiden, modningsforløpet og avlingene til åkerbønne, blir alle utviklingsstadiene gjennomgått i neste seksjon, samt hvordan værforhold og andre faktorer virker inn på de ulike stadiene.

2.7. Planteutvikling og modningsfysiologi

Det vegetative stadiet til åkerbønne bestemmes ved å telle antall utviklede nodier på hovedstammen over bakkenivå. Nodier telles fra det punktet der første ekte blad er festet til stammen. Det siste nodiet som telles må ha bladene brettet ut. Det reproduktive stadiet begynner når planten begynner å blomstre ved hvilket som helst nodium. De nederste nodiene utvikles som regel først (GRDC, 2017). En oversikt over alle utviklingsstadiene til åkerbønne fra tørt frø til høsteklart produkt presenteres med BBCH-skalaen til Weber og Bleiholder (1990) i tabell 2.7.1. Figur 2.7.1 illustrerer noen av utviklingsstadiene med koder fra BBCH-skalaen. Utviklingsstadiene beskrives deretter mer i detalj.

Tabell 2.7.1. Utviklingsstadiene til åkerbønne fra tørt frø (kode 00) til høsteklart produkt (kode 99) beskrevet med BBCH-skalaen (Weber & Bleiholder, 1990).

Utviklingsstadium	Kode	Beskrivelse
Utviklingsstadium 0: Spiring	00	Tørt frø
	01	Begynnende svelling
	03	Frøsvelling ferdig
	05	Anlegg til frørøtter
	07	Anlegg til skudd
	08	Skuddet strekker seg mot jordoverflaten
	09	Oppkomst: skuddet skyter opp gjennom jordoverflaten
Utviklingsstadium 1: Bladutvikling	10	Et par skjellblad så vidt synlige
	11	Første blad utfoldet
	12	Andre blad utfoldet
	1..	Stegene fortsetter til ...
	19	9 eller flere blader utfoldet
Utviklingsstadium 2: Formering av sideskudd	20	Ingen sideskudd
	21	Begynnende utvikling av sideskudd: Første sideskudd så vidt synlig
	22	2 synlige sideskudd
	23	3 synlige sideskudd
	2..	Stegene fortsetter til ...
Utviklingsstadium 3: Strekingsvekst	29	Avslutning av sideskuddutvikling: 9 eller flere synlige sideskudd
	30	Begynnende strekingsvekst
	31	Ett synlig forlenget stengelledd (første stengelledd forlenges fra skjellbladets leddknote til det første ekte bladets leddknote)
	32	2 synlige forlengede stengelledd
	33	3 synlige forlengede stengelledd
	3..	Stegene fortsetter til ...
Utviklingsstadium 4:	39	9 eller flere synlige forlengede stengelledd
		Ikke gjeldene for åkerbønne
Utviklingsstadium 5: Fremvekst av blomsterstand	50	Blomsterknopper til stede, fortsatt omsluttet av blader
	51	Første synlige blomsterknopper utenfor blader
	55	Første synlige individuelle blomsterknopper, men fortsatt lukket
	59	Første synlige kronblader, mange individuelle blomsterknopper, fortsatt lukket
Utviklingsstadium 6: Blomstring	60	Første åpne blomster
	61	Blomster åpner seg i første blomsterstand
	63	Blomster åpner seg i 3 blomsterstander per plante
	65	Full blomstring: Blomster åpner seg i 5 blomsterstander per plante
	67	Avblomstring
	69	Blomstringen ferdig
Utviklingsstadium 7: Utvikling av frukt	70	Første belg har nådd endelig lengde
	71	10% av belgene har nådd endelig lengde
	72	20% av belgene har nådd endelig lengde
	73	Stegene fortsetter til ...
	79	Nærmest alle belgene har nådd endelig lengde
Utviklingsstadium 8: Modning	80	Begynnende modning: Frø grønne, belgene fylles
	81	10% av belgene modne, frø tørre og harde
	82	20% av belgene modne, frø tørre og harde
	83	Stegene fortsetter til ...
	89	Fullmoden: Nærmest alle belgene mørke, frø tørre og harde
Utviklingsstadium 9: Aldring	93	Stilker begynner å mørkne
	95	50% av stilkene brune eller svarte
	97	Planten død og tørr
	99	Høsteklart produkt



Figur 2.7.1 Illustrasjon av utviklingsstadiene til åkerbønne. Kodene følger BBCH-skalaen. Figuren er hentet fra Weber & Bleiholder (1990).

2.7.1. Frøspiring

Spiring og innledende vekst av åkerbønne er hovedsakelig relatert til temperatur, og nærmere bestemt dagtemperatur. Økt dagtemperatur gir raskere spiring og utvikling dersom vann ikke er en begrensende faktor (Dantuma & Thompson, 1983). Åkerbønne krever 200-300 døgngreder for å spire, med 0°C som basetemperatur (Grenz et al., 2005; McDonald et al., 1994). Under gunstige fuktighets- og temperaturforhold begynner åkerbønnefrø å absorbere vann raskt og spirer innen få dager, gitt at temperaturen er over 0°C. I Norge er anbefalt sådybde 5-7 cm dybde (Øverland, 2020), men frøet kan spire ved en sådybde på opp til 25 cm (GRDC, 2017).

Under fuktige forhold går frøet gjennom tre stadier med vannopptak: Det første stadiet er vannopptak i frøet, kalt imbibering, som skjer fordi vanninnholdet er høyere i jorda enn i frøet. Frøet sveller. Vannet entrer hovedsakelig gjennom frøets hilum, arret på frøet hvor frøstrengen (funikulus) tidligere var festet. Det går også noe vann gjennom frøskallet. Hastigheten på vannopptaket til embryoet er avhengig av jordfuktigheten, men går vanligvis svært raskt helt til det punktet der normale cellulære prosesser (metabolisme, celledeling etc.) kan forekomme. Frøets vanninnhold må nå ca. 35% av tørrvekt før det kan spire. For mye vann kan hindre spiring ved å begrense diffusjon av oksygen til frøet. Alle frø, enten de er levedyktige eller ikke, i dvale eller ikke, går gjennom fase 1 (GRDC, 2017). Det andre stadiet starter når vannopptaket i frøet er nærmest avsluttet og det kun er et minimalt opptak. Denne fasen strekker seg helt til første synlige tegn på spiring. De viktigste

metabolske prosessene som kreves for å forberede frøet for spiring skjer i fase 2, og kun i frø som er levedyktige og som ikke er i dvale. Disse endringene blir bevart hvis frøet tørker, og frøet kan forbli tørt i lang tid uten betydelig reduksjon i levedyktighet eller spiringspotensial. Når disse frøene blir fuktet på nytt, imbiberer de raskt og spirer raskere slik at varigheten av fase 2 blir betydelig forkortet (GRDC, 2017). Det tredje stadiet er assosiert med synlig spiring og påfølgende vekst (figur 2.7.2). Som en del av denne veksten er det raskt opptak av vann igjen og ny metabolsk aktivitet, inkludert begynnelsen på mobilisering av lagrede næringsstoffer i endospermen. Synlig spiring begynner med at frøskallet brister og skudd og frørot vokser ut av skallet. Etter hvert som denne prosessen utvikler seg, blir frøplanten stadig mer utsatt for skader ved uttørking, og den har en redusert evne til å regenerere dersom den blir fuktet på nytt (GRDC, 2017).



Figur 2.7.2. Spiret åkerbønnefrø. Bildet er hentet fra (GRDC, 2017).

Spiringen skjer hypogeisk, som vil si at frøbladene forblir under jorda i frøskallet og gir energi til de raskt utviklende røttene og skuddene. Hypokotylen, den delen av stengelen som ligger under frøbladene, forblir kort, mens epikotylen, som ligger over frøbladene, strekker seg og bringer bladene opp over jorda. Oppkomst av spiren skjer 7-30 dager etter såing, avhengig av jordfuktighet, temperatur og sådybde (GRDC, 2017). Helt til grønne blader er blitt utviklet, er frøplanten avhengig av energireservoaret som er lagret i endospermen. Under det tidlige stadiet av spiringen, produserer embryoet gibberellinsyre, som trigger syntese av enzymer som leder til produksjon av sukker og aminosyrer som kreves av den voksende frøplanten (GRDC, 2017)

2.7.2. Rotutvikling

Åkerbønne har en robust pælerot med kraftig forgrenede sekundærrøtter som øker i størrelse nær jordoverflaten utover sesongen. Rotsystemet er sterkt, men penetrerer ikke alltid dypt ned i jorda. Rotveksten er raskest før blomstring, men vil fortsette til modning under gunstige forhold (GRDC, 2017).

I tillegg til å bistå planten med vann- og næringsopptak, utvikler røttene symbiotiske noder med bakterien *Rhizobium leguminosarum* bv. *Viciae* som er i stand til å fikse atmosfærisk nitrogen (N_2). Planten forsørger bakterien med karbohydrater i bytte mot N_2 som blir fiksert inni nodulene. Disse nodulene er synlige innen en måned etter plantens fremvekst, og danner etter hvert delvis flate, vifteliknende strukturer (GRDC, 2017).

2.7.3. Bladutvikling

De første bladene på skuddet er skjellblad. De ekte bladene er sammensatt av flere skruetilt småblad, og har bladformede øreblader ved festet til stilken. De første ekte bladene har et enkelt par småblader, og fra 5.-8. nodium har bladene to eller tre par småblader. Utviklingen av flere par småblader per blad samsvarer med utviklingen av den første blomsterknoppen. Hvert ekte blad blir 10-25 cm langt, og i motsetning til de fleste andre artene i *Vicia* slekta, har den ikke klatretråder (GRDC, 2017). Småbladene er 3-8 cm, brede, blågrønne og kjøttfulle uten hår (trikomer). De er symmetriske og elliptisk formet

med helrandet bladkant, fjærnervet bladplate, kileformet bladgrunn og spiss bladspiss (Mossberg et al., 2007). Under tørre og varme forhold blir småbladene brettet sammen og slappe for å minimere transpirasjonen (GRDC, 2017). Det er ett blad per nodium lang stilken. Nodiet der første ekte blad utvikler seg fra hovedstilken over jorda regnes som første nodium. Et fytomer regnes som ferdig utviklet når bladene er brettet og flatet ut (GRDC, 2017).

Fotosyntese er ansvarlig for produksjon av rundt 90% av den totale tørrvekten i planten, og utviklingen av antall blader øker med økt temperatur og lysintensitet (Alharbi & Adhikari, 2020). En rask utvikling av bladareal og en rask «canopy closure», som vil si at plantebestanden dekker jordoverflata og fanger opp lys effektivt, er derfor svært viktig for produksjonsevnen (Fasheun & Dennett, 1982).

2.7.4. Formering av sideskudd og strekningsvekst

Stengelen hos åkerbønne er kvadratisk og stivt opprett med god stråstyrke. Det er store variasjoner i høyde og antall sideskudd mellom ulike genotyper av åkerbønne. Et tilfeldig utvalg av 5000 genotyper av åkerbønner fra den nasjonale genbanken i Kina viste høyder fra 10.3 til 201.5 cm, med et gjennomsnitt på 78 cm. Antall effektive sideskudd (med frøbelger) varierte fra 1.1 til 11.4 (Zong et al., 2006). Hovedstammen har et større antall nodier og er mer produktiv enn sideskuddene (Alharbi & Adhikari, 2020).

2.7.5. Blomstring

Åkerbønneblomstene er 10-30 mm lange, ensymmetriske og tokjønnede (Mossberg et al., 2007) (Figur 2.7.3). De består av fem sammenvokste begerblad med frie spisser og fem frie kronblader hvorav det øverste er størst og kalles fanen, de to sidestilte kalles vingene og de to nederste er vokst sammen til et båtformet blad som kalles kjølen. I denne ligger 10 pollenbærere. Fruktemnet er dannet av ett fruktblad, har ryggsøm og buksøm, og på buksømmen sitter to rekker frøemner (Sunding, 2019). Fargen på blomstene varierer mellom genotyper. En svart flekk er som oftest å finne på vingene, og blomstene kan være enten helt hvite eller ha diffuse pigmenter på alle kronbladene (lilla eller mørkenbrune). Recessive alleler ved et av genene *zt-1* og *zt-2* gir hvit blomsterfarge og har også en effekt på sammensetningen til frøskallet som bestemmer fraværet av tanniner (Duc et al., 2015).



Figur 2.7.3. Fargede blomster hos åkerbønne. Bildet er hentet fra Duc et al. (2015).

Blomstringsstadiet er det viktigste fenologiske stadiet i en plantes livssyklus og markerer overgangen fra vegetativ til reproduktiv fase (Alharbi & Adhikari, 2020). Åkerbønne er spesielt sensitiv for varme- og tørkestress i blomstringsfasen (O'Sullivan & Angra, 2016). En kort periode på én til tre uker etter blomstring er den viktigste tiden for avlingsdannelse i åkerbønne, da over 70% av alle belgene blir ansatt i løpet av denne tiden (Clifford et al., 1990). Værforholdene i denne perioden er derfor svært avgjørende for avlingspotensialet.

Forsøk har vist at temperatur er den viktigste faktoren som påvirker tidspunkt for blomstingsinduksjon i åkerbønne (Patrick & Stoddard, 2010). Minimumstemperaturen for blomstringsinduksjon er 16°C (Patrick & Stoddard, 2010), men den optimale temperaturen for blomstring er ifølge Ellis et al. (1988) mellom 20-25°C. Temperaturkrav blir normalt uttrykt som varmesum fra såing til blomstring. Kravet til varmesum synes å variere med klima og genotyper, men en basistemperatur på 0°C ved beregning av varmesum er bekreftet i flere uavhengige forsøk (Boote et al., 2002). McDonald et al. (1994) observerte et krav på 611-972°d (døgngrader) for ulike genotyper samlet fra Europa og Midtøsten som ble dyrket i Sør-Australia. Ellis et al. (1988) studerte seks ulike genotyper (fem sorter fra Middelhavet og én engelsk vårsort) og fant et krav på rundt 1000°d. I tillegg til temperatur, kan daglengde også påvirke tidspunkt for blomstringsinduksjon. Både sorter som er daglengdenøytrale og som har en daglengderespons er funnet i åkerbønne. Ianucci et al. (2008) observerte at noen italienske sorter ikke blomstret før både minimum daglegdekrav på 12 timer og varmesum på 833°d var oppnådd.

Det er minst fem blomster per nodium, men vanligvis blir kun to eller tre blomster beholdt per klase, mens resten aborterer og faller av (Filippetti & Ricciardi, 1993; Soper, 1952). Åkerbønne produserer 50-80 blomster per plante, som på det høyeste tilsvarer 13.5 millioner blomster/ha (Alharbi & Adhikari, 2020). Ute i felt er det kun 10-30% av blomstene som utvikler seg til belger, mens det under kontrollerte forhold i veksthus ligger på 50-60% (Filippetti & Ricciardi, 1993). Dette indikerer at avlingene har potensiale til å øke betydelig under gunstige forhold.

Patrick og Stoddard (2010) trekker fram tre hovedfaktorer som bidrar til at åkerbønne aborterer mange av blomstene sine. Første faktor er manglende pollinering og befruktning. Uten pollinering kan ikke blomsten produsere frø. Blomstene kan enten bli selvpollinert eller krysspollinert, ofte ved hjelp av insekter. Krysningsraten er på 4-48%, avhengig av hvordan plantene står i forhold til hverandre, genotype og type pollinatorer (Alharbi & Adhikari, 2020). Manglende pollinering kan skyldes autosterilitet. Ulik fysiologi og anatomi i arr, griffel og pollenkorner er blitt observert mellom autofertile og autosterile blomster (Paul et al., 1978). Pollinatorer er også viktig for å maksimere avlingene, og flere studier viser at bier er den viktigste pollinatoren for åkerbønne (Alharbi & Adhikari, 2020). Den andre faktoren Patrick og Stoddard (2010) trekker fram er plantens tilgjengelighet på assimilater. Reduksjon av lys gjennom skyggelegging reduserer blomsterretensjonen. Stoddard (1993) viste at redusert lysstyrke i intervaller med kraftig, overskyet vær i det kritiske vinduet på fire dager etter blomstring selv med tilstrekkelig pollinering ga også redusert blomsterretensjon. Tilsvarende ga moderat tørkestress og andre fysiologiske stressfaktorer et redusert antall belger heller enn å påvirke antall frø per belg eller frøstørrelse (Adisarwanto & Knight, 1997). Tredje faktor er at åkerbønne produserer altfor mange blomster. Dette er en velkjent økologisk strategi for å øke plantens evne til å konkurrere om pollinerende insekter (Schoonhoven et al., 2005). Innad i planten er det også konkurranse om tilgjengelige assimilater både blant de reproduktive organene og mellom de reproduktive og vegetative organene (Huyghe, 1998). Forsøk har vist at fysisk avkutting av skuddspissen fjerner denne konkurransen og endrer balanse mellom fyttohormoner som ofte fører til økt blomsterretensjon (Patrick & Stoddard, 2010).

2.7.6. Belgutvikling

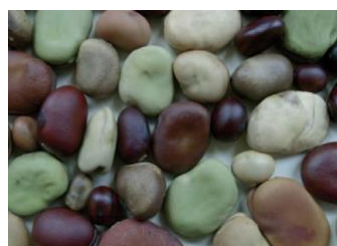
Frukten til åkerbønne er en 1-roms belg, dannet av ett fruktblad som åpner seg langs to sømmer (Figur 2.7.4). Belgdannelsen starter ofte på syvende eller åttende nodium (Soper, 1952). Belgene sitter opprett i bladhjørnene oppover langs stengelen. De er hårete og grønne med en tett dunete indre overflate. Når de modnes, blir de svartbrune (Mossberg et al., 2007). Moderne sorter utviklet for bruk av mat til mennesker har belger som er 15-25 cm lange og 2-3 cm tykke. Hver belg inneholder 3-8 frø (GRDC, 2017).



Figur 2.7.4. Belger hos åkerbønne. Bildet er hentet fra GRDC (2017).

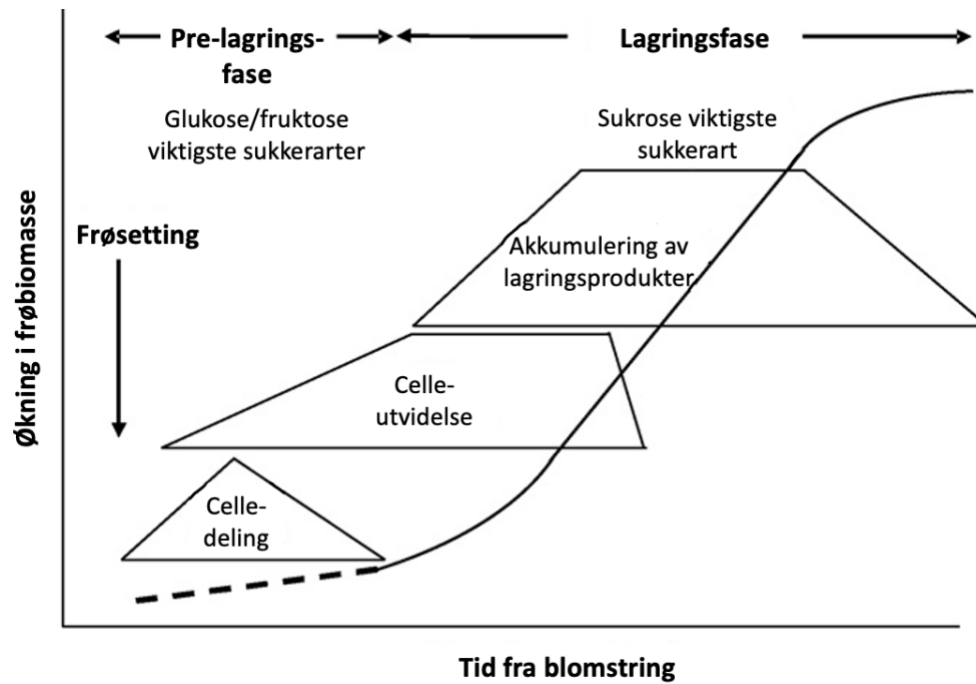
2.7.7. Frøutvikling

Åkerbønnefrø viser stor genetisk variasjon i størrelse, vekt, form, farge og mønster på frøskallet (flekket eller marmorert), hilumfarge og farge på frøbladene (gule eller grønne) (Figur 2.7.5). Disse egenskapene er sterkt knyttet til tannininnhold (Duc et al., 2015). Frøene er runde eller ovale, vanligvis litt flate og blir opptil 20-25 mm lange, 15 mm brede og 5-10 cm tykke (GRDC, 2017).

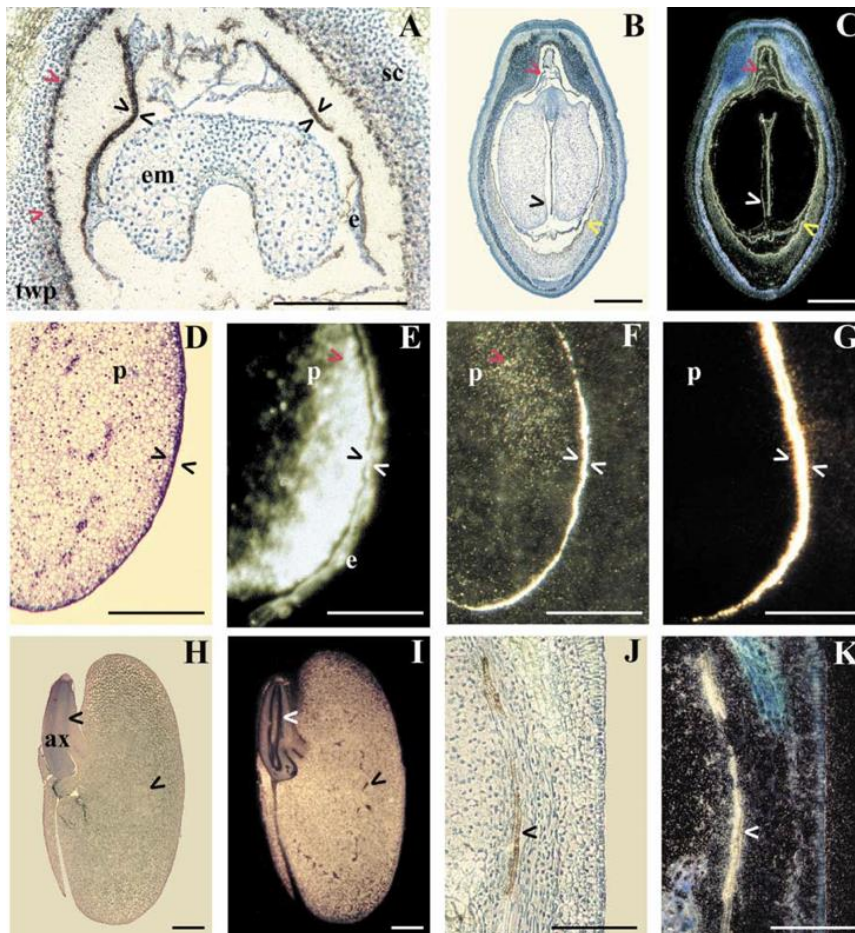


Figur 2.7.5. Genetisk variasjon i åkerbønnefrø. Bildet er hentet fra Duc et al. (2015).

Etter at blomstene er blitt befruktet, begynner frøene i belgene å utvikle seg. Frøene går først gjennom en pre-lagringsfase hvor potensiell frøstørrelse og antall frø per belg bestemmes. Deretter kommer lagringsfasen, hvor lagringsprodukter akkumuleres (Patrick & Stoddard, 2010). De viktigste lagringsproduktene i åkerbønne er protein og stivelse (Hill-Cottingham, 1983). Figur 2.7.6 viser når (i tid fra blomstring) dette skjer i forhold til økning i frøbiomasse, og hvilke sukkerarter som er viktigst for biomasseøkning i de ulike fasene. I pre-lagringsfasen utgjør frøskallet og endospermen en relativt stor andel av frøet, og har celler med stor metabolsk aktivitet. I lagringsfasen blir disse cellelagene utarmet og tilbakedannet, og innlagring av næringsstoffene skjer i frøbladens celler (Patrick & Stoddard, 2010). Figur 2.7.7 viser ulike lysmikroskopisnitt av åkerbønnefrø under utvikling. De ulike frøutviklingsfasene blir deretter beskrevet mer i detalj.



Figur 2.7.6. Diagrammatisk fremstilling av åkerbønnefrøets utvikling i pre-lagrings- og lagringsfasen. Figuren viser når (i tid fra blomstring) celledeling, celleutvidelse og akkumulering av lagringsprodukter skjer i forhold til økning i frøbiomasse, og når de viktigste sukkerartene som bidrar til biomasseøkning er henholdsvis glukose/fruktose og sukrose. Hentet og oversatt fra Patrick og Stoddard (2010).



Figur 2.7.7. Lysmikroskopisnitt av åkerbønnefrø under utvikling. A: Snitt av frøskall (sc), endosperm (e), ungt embryo (em), tynnveggede parenkymceller (røde piler), endosperm (svarte piler) i pre-lagringsfasen. Bar: 500 μ m. B, C: Lyst og mørkt snitt av frøet i begynnelsen av lagringsfasen som viser de tynnveggede parenkymcellene (gule piler), endospermen (røde piler) og embryoets epidermis (Svart (B) eller hvit (C) pil). Bar: 1 mm. D, E, F, G: Snitt gjennom ytre adaxiale region av frøbladene i på et litt senere stadium i begynnelsen av lagringsfasen som viser lokalisering av vicilin mRNA i lagringsparenkym (rød pil, E), sukrose-bindende protein mRNA i lagringsparenkym og epidermis av embryoet (hvite og svarte piler, E, F) og sukrose transportør mRNA i transportcellene til embryoet (G). Bar: 1 mm. H, I: Lyst og mørkt langsgående snitt gjennom frøet i midten av lagringsfasen som viser et fullt utviklet embryo med akse (ax). Bar: 1 mm. J, K: Lyst og mørkt bilde av det vaskulære kambiet hos frøbladene i begynnelsen av lagringsfasen. Bar: 200 μ m. Bildet er hentet fra Heim et al. (2001).

2.7.7.1. Pre-lagringsfasen av frøutviklingen

Umiddelbart etter befruktningen gjennomgår frøskallet og endospermen en kombinasjon av celledeling og celleutvidelse som gir en rask økning i størrelse (Borisjuk et al., 1995). Når denne veksten etter hvert bremses opp, begynner embryoet å utvikle seg (Figur 2.7.7A). Embryoet gjennomgår hyppig celledeling som gradvis reduseres ved overgangen til lagringsfasen av frøutviklingen. Denne fasen er sterkt preget av extracellulær invertase, som dannes i tynnveggede parenkymceller fra de indre lagene av frøskallet (Weber et al., 1995). Sukrose, som stadig importeres fra floemet, frigjøres fra frøskallet og hydrolyseres av den ekstracellulære invertasen (Weber et al., 1997). Dette gir et høyt glukose/sukrose-forhold som fordeler seg i alle deler av frøet i denne fasen, inkludert frøbladene. Det høye glukose/sukrose-forholdet synes å ha en nøkkelrolle for å regulere den mitotiske aktiviteten i cellene i frøbladene, og virker til å opprettholde celledelingen (Weber et al., 2005). Varigheten av denne aktiviteten bestemmer frøets endelige celleantall og dermed frøstørrelse (Weber et al., 1996).

Bestemmelsen av celleantallet i embryoet og antall frø per belg skjer overlappende i tid (Duthion & Pigeaire, 1991). Denne overlappingen kan være årsaken til at det ofte er blitt observert en invers sammenheng mellom frøstørrelse og antall frø per belg hos kjernebelgvekster. Men det er også mye som tyder på at det er et mer komplekst samspill mellom disse avlingskomponentene, og at de fysiologiske mekanismene ennå ikke er helt forstått (Patrick & Stoddard, 2010).

Avlingsoppbyggingen, det vil si utviklingen av frøstørrelse og antall frø per belg, er svært følsom for endringer i tilgang på næringsstoffer, spesielt av fotoassimilater og nitrogenholdige forbindelser. Redusert tilgang på fotoassimilater til frø som er under utvikling kan redusere frøstørrelse eller antall frø per belg, eller begge deler, avhengig av tidspunktet det inntreffer. Økt tilgang har motsatt effekt. Sensitiviteten er høyest tidlig i frøutviklingsfasen fordi mekanismene for overføring fra floemet ikke er ferdig differensiert, samtidig som at frøene fortsatt er små slik at de ikke er sterke sluk for assimilater (Zhang et al., 2007).

Transporten av importerte næringsstoffer mellom frøskallet, endospermen og embryoet under pre-lagringsfasen er foreløpig lite forstått. Men det er antatt at hydrolyse av sukrose med invertase er viktig for å opprettholde et forhøyet apoplasmisk osmotisk trykk og dermed et senket turgortrykk i floemet, noe som driver floemimporten (Wolswinkel, 1992). Når sukrosen er blitt frigjort til frøapoplasmaen, kan næringsstoffene strømme direkte til embryoet eller bevege seg via endospermen. Endospermen danner et dynamisk næringsreservoar som frigjøres fra frøskallet (Patrick & Stoddard, 2010). Imidlertid er det ingen informasjon om næringstransportører som legger til rette for bevegelse til og fra endospermen i åkerbønne.

Etter hvert som embryoet fortsetter å utvikle seg, blir ikke lenger næringstilførselen fra endospermen tilstrekkelig. Endospermen blir gradvis utarmet og embryoet blir stadig mer avhengig av næringsstoffer som frigjøres direkte fra frøskallet. Heksose/H⁺ symportaktivitet ved apoplasmiske heksosekonsentrasjoner bidrar til vekst av frøbladene (Murray, 1988). Dette funnet viser at heksosetransportør(er) spiller en sentral rolle for tilførsel av karbon for å forsyne frøbladene under pre-lagringsfasen (Patrick & Stoddard, 2010).

2.7.7.2. Overgangen fra pre-lagringsfasen til lagringsfasen av frøutviklingen

I overgangen fra pre-lagringsfasen til lagringsfasen skjer det et skifte i frøbladene fra celledeling til celleutvidelse, kombinert med induksjon av metabolske prosesser for biosyntese av lagringsprodukter (Borisjuk et al., 1995).

Ved begynnelsen av denne overgangen rundt 21 dager etter blomstring får det forlengede embryoet kontakt med frøskallet i distal ende. Deretter får frøbladene en kraftig økning i størrelse, og når frøbladene når 60% av endelig størrelse er hele det abaxiale (nedre) overflatearealet i kontakt med frøskallet (Harrington et al., 1997). Det adaxiale (øvre) overflatearealet får en lavere intracellulær glukosekonsentrasjon som gjør at celledelingen stopper opp, og biosyntese av stivelse begynner (Borisjuk et al., 1998). Epidermiske overføringsceller blir dannet som følge av lavere intracellulære glukosenivåer i epidermis og

begynnende biosyntese av etylen (Wardini et al., 2007). Frøbladets lagringsfunksjon blir initiert av at de intracellulære sukrosenivåene øker (Harrington et al., 1997). De forhøyede intracellulære sukrosenivåene er knyttet til at det skjer en overgang fra meristematisk tilstand til celleutvidelse, endopolyploidisering og biosyntese av stivelse (Borisjuk et al., 2002).

I overgangsfasen overlapper celledeling, celleutvidelse og lagring i tid. Når frøbladene når endelige størrelse ved ca. 20-25% tørrstoffinnhold, er alle lagringsparenkymcellene til frøbladene engasjert i akkumulering av lagringsprodukter (Harrington et al., 1997). Deretter følger en lineær fase med frøfylling, som beskrives i neste seksjon.

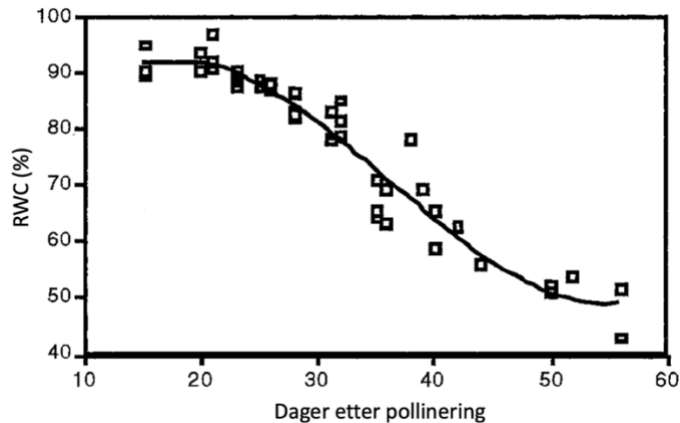
2.7.7.3. Lagringsfasen av frøutviklingen

I begynnelsen av lagringsfasen er endospermen utarmet, og embryoet er avhengig av importerte næringsstoffer som direkte frigjøres fra frøskallet (Patrick & Stoddard, 2010). Syntese av vicilin, en av de to viktigste klassene av lagringsproteiner, initieres omtrent 21–24 dager etter blomstring og opphører omtrent 7–10 dager senere (Figur 2.7.7E+F+G). Syntese av legumin, det andre store lagringsproteinet, starter omtrent 4 dager etter vicilinsyntesen og fortsetter til uttørkingsfasen (De Pace et al., 1991).

Næringsstoffer importeres til frøene gjennom et enkelt vaskulært kambium i funikulus ved frøfestet (Figur 2.7.7J+K). Floemutlastingen følger en symplastisk vei fra silelementets ledsagercellekompleks til de tynnveggede parenkymtransportcellene (Figur 2.7.7B+C). Sukrose utgjør rundt 80% av fotoassimilatene som frigjøres fra frøskallet (Offler et al., 1989). Frøbladene trekker næringsstoffer fra frøskallet gjennom turgorsignaler som regulerer hastighetene av næringsstoffutslipp gjennom energiavhengige og -uavhengige mekanismer (Patrick, 1994).

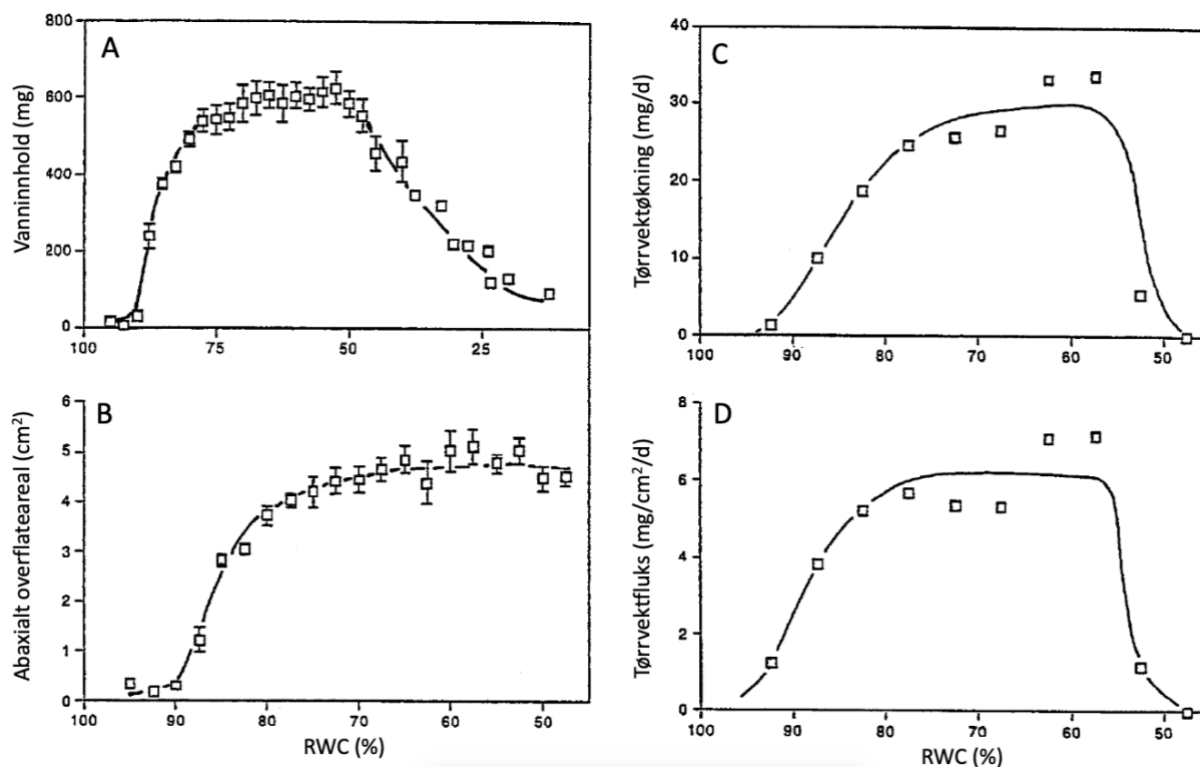
Innenfor det beskyttende skallet til belgene er fordampningstapet fra overflaten til frøskallet lavt eller lik null. Derfor er det lite eller ingen behov for spenning for å drive transpirasjonsstrømmen gjennom xylemet, og næringsstoffer og vann importeres til de utviklende frøskallene hovedsakelig gjennom floemet (Zhang et al., 2007). Embryoet, endospermen og frøskallet danner hver sin uavhengige symplasmiske sfære, så næringsstrømmene mellom disse strukturene skjer over plasmamembranene gjennom grensesnitt (Patrick & Offler, 2001). Spesialiserte overføringsceller utvikles ved disse grensesnittene for å kunne støtte de høye membranstrømmene av næringsstoffer som kreves for å oppfylle kravene til biosyntese av lagringsprodukter som forekommer i frøbladene (Patrick & Stoddard, 2010).

Harrington et al. (1997) studerte sukrosetransporten i frøbladene til åkerbønnefrø under utvikling. Figur 2.7.8 er hentet fra denne studien og viser forholdet mellom frøbladenes relative vanninnhold i prosent av friskvekt (RWC) og tid i dager etter pollinering. Tidlig i frøutviklingen, fra 15 til 20 dager etter pollinering, endret vannprosenten seg lite med tiden. Fra rundt 20 til 50 dager etter pollinering ble RWC redusert med en relativt jevn hastighet fra ca. 90 til 50% RWC. Deretter flatet kurven ut.



Figur 2.7.8. Forholdet mellom frøbladenes relative vanninnhold (RWC) til åkerbønnefrø under utvikling og tid (i dager) etter pollinering. RWC er vanninnhold uttrykt som prosent av friskvekt. Likningen til den tilpassede kurven (tredjegradspolynom) er $y = 0.002x^3 - 0.182x^2 + 4.8x + 54.3$. Figuren er hentet og oversatt fra Harrington et al. (1997).

Figur 2.7.9 er også hentet fra Harrington et al. (1997) og beskriver forholdet mellom frøbladenes RWC til åkerbønnefrø under utvikling og økning i vanninnhold, abaxiale (nedre) overflateareal, tørrvekt og tørrvektfluks. Da tørrvektakkumuleringen av embryoet opphørte, gikk vanninnholdet i frøbladene raskt ned. Hastigheten for tørrvektakkumuleringen økte sammenfallende med frøbladekspansjonen fra ca. 90% RWC, og nådde maksimale hastigheter ved 75-80% RWC da ekspansjonen av frøbladene opphørte. Deretter ble den maksimale tørrvektakkumuleringen på ca. 29 mg/dag opprettholdt fram til frøbladenes RWC var redusert til ca. 52.5% hvorefter akkumuleringen av tørrstoff ble brått redusert til null ved 47.5% RWC. Varigheten av den lineære fasen til frøfyllingen er temperaturavhengig, og under forholdene til dette forsøket varte den lengre enn 35 dager. Tørrvektfluksen, uttrykt som arealet av det abaxiale overflatearealet av frøbladene, økte fra ca. 92.5 til 77.5% RWC og deretter holdt seg konstant til 57.5% RWC før den brått avtok ved 47.5% RWC.



Figur 2.7.9. Forholdet mellom frøbladenes relative vanninnhold (RWC, %) til åkerbønnefrø under utvikling og deres A: absolutte vanninnhold (mg), B: abaxiale overflateareal (cm²), C: økning i tørrvekt per dag (mg/d) og D: fluksene av tørrvektøkningen (mg/cm²/d). Figuren er hentet og oversatt fra Harrington et al. (1997).

Endelig frøstørrelse og tilgjengelig plass i belgen korrelerer med hverandre, noe som tyder på at det er fysiske begrensninger som bestemmer omfanget av celleutvidelsen til frøbladene (Fukuta et al., 2006). Akkumulering av frøbladbiomassen fortsetter fram til frømodningsprosessen starter, som hindrer ytterligere lagring av biosynteseprodukter, etterfulgt av uttørking av frø (Weber et al., 2005). I motsetning til pre-lagringsfasen er biomasseakkumuleringen i lagringsfasen mindre sensitiv til endringer i bladfotosyntese (Toker, 2004).

2.7.8. Modning

Akkumulering av frøets reserver av stivelse og protein vil være begrenset av volumet som frøbladene kan fylle opp, og er bestemt av celleantallet som etableres i pre-lagringsfasen. Akkumulerte reserver fortrenger gradvis cellevann fra frøbladene (Patrick & Stoddard, 2010). En kraftig nedgang i tørrstoffakkumulering er blitt vist når frøbladenes RWC når rundt 57% (Figur 2.7.9C), og dette korrelerer med en redusert aktivitet av deres sukrose/proton symporteraktivitet og uttrykk (Harrington et al., 1997). Ved rundt 47.5% RWC opphører tørrvektakkumuleringen (Figur 2.7.9C), samtidig som at det blir en rask nedgang i vanninnholdet (Figur 2.7.9A). Da betegnes frøene som fysiologisk modne. Ved dette stadiet er frøbladene, frøskallet og funikulus helt gule. Ytterligere vanntap resulterer i gule/hvite voksaktige frøblader innkapslet i et læraktig grått frøskall med svartet hilum (Harrington et al., 1997). Ifølge dyrkingsveiledning fra Australia er frøene høstklare når >90% av stengler og belger er svarte. Ved dette stadiet er frøene vanligvis harde, men drysser ikke når planten ristes (GRDC, 2017). Ifølge dyrkingsveiledning fra Norge er det best å treske frøene når RWC ligger på 18-20% (Øverland, 2020).

3. Materiell og metode

3.1. Forsøksdesign feltforsøk Vollebekk og Apelsvoll

I regi av prosjektet FoodProFuture er det blitt utført feltforsøk med åkerbønne, *Vicia faba* L., på flere lokasjoner i fire år, fra 2017 til 2020. To av lokasjonene var Norges miljø- og biovitenskapelige universitet sin forsøksgård på Vollebekk i Ås, og NIBIO (Norsk Institutt for Bioøkonomi) sin forskningsstasjon på Apelsvoll i Østre Toten. Her ble forsøkene supplert med ukentlige innsamlinger av belgprøver for å studere modningsforløpet under norske dyrkingsforhold. Denne studien er basert på disse dataene fra fire forsøksfelter med følgende feltkoder som går igjen i hele studien, som vist i tabell 3.1.1.

Tabell 3.1.1. Feltnavn, lokasjon, år og feltnavn for forsøksfeltene.

Kode	Lokasjon	År	Sådato	Feltnavn
A18	Apelsvoll	2018	9. mai	NAPE52231818-2
A19	Apelsvoll	2019	1. mai	NAPE52231919-1
V19	Vollebekk	2019	24. april	NAPE52231919-002
V20	Vollebekk	2020	23. april	NAPE5223 2020-001

Sorten 'Vertigo' ble dyrket på disse forsøksfeltene. 'Vertigo' har medium frøstørrelse, og er en sort med lavt innhold av tanniner (Ivarsson & Neil, 2018). Den har hvite blomster med en mørklilla/svart spot på vingene. Feltene ble sådd med såmengde på 60 frø/m².

Disse feltforsøkene er del av en forsøksserie som ble anlagt for å studere virkninger av startgjødsling og smitting av frø med *Rhizobium*. Forsøksdesignet var split-plot, med 2 faktorer og 6 gjentak. Rutefordelingen var randomisert innen hvert gjentak. To av gjentakene ble bruk for å ta ut planteprøver gjennom sesongen, inkludert belgprøvene som er analysert i denne oppgaven. De resterende gjentakene ble høstet med skurtresker for avlingsbestemmelse. Faktor 1 var startgjødsling, med seks ulike behandlinger/ledd, som ble anlagt på smårutene. Faktor 2 var med eller uten frøinokulering (smitting) av *Rhizobium* bakterier før såing, anlagt på storrutene. I denne studien ble det valgt ut kun noen av forsøksbehandlingene: Uten gjødsel; med 23,1 kg fullgjødsel 22-3-10; med frøinokulering av *Rhizobium* bakterier; og uten frøinokulering av *Rhizobium* bakterier. Dette gir fire ulike kombinasjoner med følgende behandlingskoder som går igjen i hele studien, som vist i tabell 3.1.2. For felt V20 ble det samlet inn belgprøver fra alle de fire behandlingene (B1-B4). For felt A18, A19 og V19 ble det tatt belgprøver fra behandlingene B2, B3 og B4.

Tabell 3.1.2. Beskrivelse av behandling med tilhørende kode fra B1 til B4.

Kode	Behandling
B1	Smittet, gjødslet
B2	Smittet, ikke gjødslet
B3	Ikke smittet, gjødslet
B4	Ikke smittet, ikke gjødslet

3.2. Kunstig vanning

Alle forsøksfeltene utenom V19 ble vannet noen ganger i løpet av sesongen på grunn av perioder med lite nedbør. Felt A18 ble vannet fem ganger i løpet av sesongen, 20 mm hver gang. Datoer: 4.-5. juni (halve feltet det ene dagen, resten dagen etter), 26. juni, 11. juli og 19.-20. juli (halve feltet det ene dagen, resten dagen etter). Felt A19 ble vannet to ganger i

løpet av sesongen, 20 mm hver gang. Datoer: 5. juli og 29. juli. Felt V20 ble vannet to ganger i løpet av sesongen, 25 mm hver gang. Datoer: 3. juni og 18. juni.

3.3. Uttak av belger og frø fra åkerbønne

Gjennom perioden med belg- og frødannelse og fram til modning ble det gjort uttak av belger og frø én gang per uke. Tabell 3.3.1 viser når uttakene ble utført. Totalt 20 belger fra til sammen 10 planter per rute ble høstet. Belgene ble systematisk tatt fra det laveste nodiet med belger for hver plante. Det ble notert hvilket nodium belgene ble plukket fra, talt fra jordoverflaten og oppover.

Tabell 3.3.1. Dato for uttak av belger og frø for alle felter.

Uke	A18	A19	V19	V20
28	11-Jul	-	-	-
29	17-Jul	-	-	15-Jul
30	24-Jul	-	24-Jul	22-Jul
31	31-Jul	30-Jul	31-Jul	29-Jul
32	07-Aug	06-Aug	07-Aug	05-Aug
33	15-Aug	13-Aug	14-Aug	12-Aug
34	-	20-Aug	21-Aug	19-Aug
35	-	27-Aug	28-Aug	26-Aug
36	-	03-Sep	04-Sep	02-Sep
37	-	10-Sep	-	-
38	-	17-Sep	-	-
40	-	01-Oct	-	-
42	-	15-Oct	-	-
43	-	22-Oct	-	-

3.4. Analyse av friskvekt, tørrvekt og vanninnhold

Frøenes friskvekt, tørrvekt og vanninnhold ble analysert ved hvert uttak for å undersøke plantas fysiologiske stadium og finne ut når og ved hvilke frøverdier stofftransporten inne i frøene stoppet opp, som betyr at frøene er fysiologisk modne. Fra 12 av belgene ble frøene plukket ut og lagt i fryser på -80°C. Fra de resterende 8 belgene ble frøene plukket ut, talt og veid for å beregne friskvekt (FW) oppgitt som milligram per frø. Så ble frøene plassert i tørkeskap i to dager på 60°C, for deretter å bli veid igjen for å beregne tørrvekt (DW) oppgitt som milligram per frø. Frøenes relative vanninnhold (RWC) i prosent ble utregnet. I Excel ble gjennomsnittlig FW, DW og RWC sammenstilt i linjediagrammer for hvert felt, med standardavvik (SD). Kurvetilpasning ble gjort med polynomiallinjer av ulike grader for å få en glattere og tilpasset kurve til de verdiene som ble observert.

3.5. Analyse av værdata og kalkulering av varmesummer

Værdata fra såing til hele feltet ble høstet ble hentet fra databasen LandbruksMeteorologisk Tjeneste til NIBIO (2021) fra meteorologiske stasjoner på Ås (Søråsjordet) for 2019 og 2020 og fra Apelsvoll for 2018 og 2019. Parameterne som ble hentet ut var døgnmiddel-, maksimum- og minimumstemperatur i 2 m høyde i °C, nedbør i mm, relativ luftfuktighet i 2 m høyde, 60 min. middel i % og globalståling i watt/m². Jordtemperatur i °C ble hentet fra temperaturloggere som lå nedgravd i sådybde i nærheten av feltene.

Varmesummer ble kalkulert basert på summen av døgnmiddeltemperaturene fra såing til begynnende blomstring, fra begynnende til avsluttende blomstring, fra såing til uttakene, fra begynnende blomstring (gjennomsnitt) til uttakene og fra avsluttende blomstring (gjennomsnitt) til uttakene. 0°C ble brukt som basetemperatur. Værdata og varmesummer ble sammenliknet med planteutviklingen for de ulike forsøkene.

Gjennomsnittlig døgnmiddeltemperatur, total varmesum og nedbørsmengde for hele vekstsesongen (mai-september) på Apelsvoll 2018 og 2019 og Vollebekk 2019 og 2020, samt normalverdiene fra 1991 til 2020 ble hentet fra Stabbetorp et al. (2019; 2020; 2021) for å kunne sammenlikne vekstsesongene opp imot normalverdiene.

3.6. Databehandling og statistisk analyse

Minitab Statistical Software, versjon 19.2020.2.0 ble brukt til å utføre ulike variansanalyser. Et signifikansnivå på $p < 0.05$ ble brukt som kriterier for alle analysene. Forsøksfeltene ble først analysert hver for seg. Minitabs «Mixed effect models» (blandet effekt modeller) ble brukt for å teste statistisk signifikans mellom hver variabel (FW, DW og RWC) versus gjentak, uttak, behandling og samspillet mellom uttak og behandling.

Deretter ble feltene analysert sammen med mål om å finne sammenhenger mellom modningsforløp og klimatiske faktorer og behandling. På grunn av forskjeller i såtid og værforhold mellom sesonger og felt, varierte fysiologisk stadium under frøutviklingen noe mellom feltene for de ulike uttakene. For å kunne stille sammen data fra alle feltene og gjøre statistiske analyser, ble det valgt ut fire uttak fra hvert felt som i størst mulig grad var på samme fysiologiske stadium. Frøenes vanninnhold og varmesum fra begynnende blomstring ble brukt som kriterier for utvalget, og dette resulterte i fire stadier (U1-U4) på omtrent samme utviklingsstadium som vist i tabell 4.3.1 i resultatkapittelet. Minitabs «Mixed effect models» ble brukt for å teste statistisk signifikans mellom utviklingsstadium (U1-U4) og alle variabler (FW, DW og RWC) og mellom alle variabler og behandlinger (B2-B4) innenfor hvert utviklingsstadium. B1 ble utelukket i denne testen siden det kun var felt V20 som fikk denne behandlingen. One-way ANOVA (enveis variansanalyse) med Tukeys multisammenlikningstest ble brukt for å finne ut hvilke data som var signifikant forskjellige fra hverandre. Data med samme bokstav betyr at de ikke er signifikant forskjellige, og data med forskjellige bokstaver betyr at de er signifikant forskjellige.

4. Resultater og diskusjon

4.1. Sammenlikning av værforhold

En oversikt over værforholdene for hvert felt fra såing til hele feltet ble høstet vises i tabell 4.1.1. Tiden fra såing til høsting varierte med 70 dager, fra unormalt kort tid på felt A18 til unormalt lang tid på felt A19. Varmesummen fra såing til høsting varierte med hele 227°C. Nedbørsmengden varierte også mye, med 328.9 mm. Felt A18 hadde betydelig lavere nedbørsmengde og lavere luftfuktighet enn de andre feltene, men høyest døgnmiddeltemperatur og gjennomsnittlig stråling.

Tabell 4.1.1. Ulike værparametere fra såing til hele feltet ble høstet for hvert felt.

Felt	A18	A19	V19	V20
Antall dager	106	176	142	142
Dato	09/05- 22/08	01/05- 23/10	25/04- 13/09	23/04- 11/09
Varmesum, tot. (°d)	1855	2082	2024	1954
Middeltemp. luft, gj. snitt (°C)	17.5	11.8	14.3	13.8
Middeltemp. luft, min.-maks. (°C)	9.5-24	-0.1-23.3	2.6-24.1	3.3-23.3
Temp. luft, min.-maks. (°C)	3.6-30.9	-4-29.8	-5-33.1	-3.6-31.3
Nedbør, tot. (mm)	145.7	474.6	459.6	378.7
Nedbør, gj. snitt/dag (mm)	1.4	2.7	3.2	2.7
Kunstig vanning, tot. (mm)	80	40	0	50
Middeltemp. jord, gj. snitt (°C)	21.2	12.3	14.9	15.3
Middeltemp. jord min.-maks. (°C)	11.5-27.3	1.6-22.2	7.2-22.2	9.4-22.1
Relativ luftfuktighet, gj. snitt (%)	58.6	75.2	75.7	68.4
Globalstråling, tot. (W/m ²)	2212.4	2261	2303.4	2592.5
Globalstråling, gj. snitt (W/m ²)	20.9	12.8	16.2	18.3

Dataene fra tabell 4.1.2 er hentet fra Stabbetorp et al. (2019; 2020; 2021) og viser døgnmiddeltemperatur, varmesum og nedbørsmengde fra mai til september på Apelsvoll i 2018 og 2019, på Ås i 2019 og 2020, samt normalverdiene fra 1990-2020. På Apelsvoll i 2018 var temperaturen unormalt høy og nedbørsmengden unormalt lav i forhold til normalverdiene. I 2019 var temperaturen normal, og nedbørsmengden litt over det normale. På Ås i 2019 og 2020 lå temperaturen litt over normalen. Nedbørsmengden i 2019 var en god del høyere enn normalen, mens i 2020 lå den omtrent på normalen.

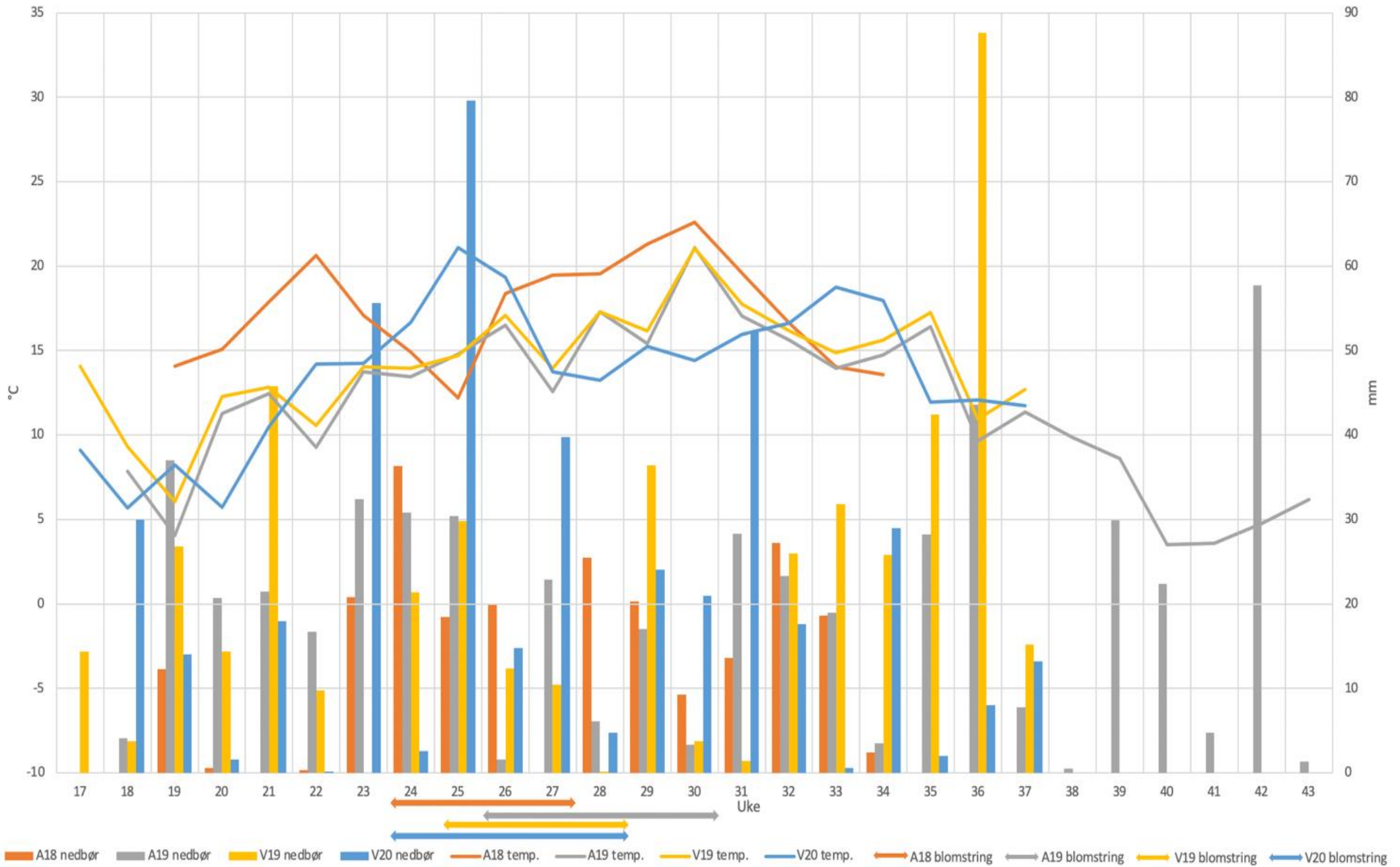
Tabell 4.1.2. Gjennomsnittlig døgnmiddeltemperatur og total varmesum og nedbørsmengde fra mai-september på Apelsvoll i 2018 og 2019, på Ås i 2019 og 2020, samt normalverdiene fra 1990-2020.

	Apelsvoll			Ås		
	2018 ^a	2019 ^b	Normal 1991-2020 ^c	2019	2020 ^c	Normal 1991-2020 ^c
Middeltemp. gj. snitt (°C)	15.5	13	12.9	13.8	13.9	13.5
Varmesum, tot. (°d)	2377	1986	1978	2112	2129	2073
Nedbør, tot. (mm)	251	399	343	571	422	429

^a(Stabbetorp et al., 2019), ^b(Stabbetorp et al., 2020), ^c(Stabbetorp et al., 2021).

En oversikt over gjennomsnittlig døgnmiddeltemperatur og total nedbørsmengde per uke fra såing til hele feltet ble høstet, samt tidspunkt for blomstring for alle felter vises i figur 4.1.1. Sesongen 2018 var et utpreget tørkeår på Østlandet, karakterisert av både høye temperaturer og lite nedbør. På Apelsvoll i 2018 var det en god del høyere døgnmiddeltemperatur fra uke 19-23 og 27-30 enn på de andre feltene. I 2019 fulgte temperaturen omtrentlig samme kurveforløp på Apelsvoll og Ås, med Apelsvoll litt under.

På Ås i 2020 var det mildere i uke 24-26 og 33-34 og kjøligere i uke 28-31. Det var stor variasjon i nedbørsmengden (+ kunstig vanning) fra uke til uke på alle feltene. Blomstringsfasene for alle feltene var mellom uke 24-30. På felt A19 var blomstringsfasen litt senere enn på de andre feltene.



Figur 4.1.1. Gjennomsnittlig middeltemperatur (primærakse, °C) og total nedbør + kunstig vanning (sekundærakse, mm) per uke fra såing til hele feltet ble høstet på Apelsvoll 2018 (A18) og 2019 (A19) og Ås 2019 (V19) og 2020 (V20). Blomstringsfasen for de ulike feltene er markert som piler under y-aksen.

Lengde og tidspunkt for blomstringsfasen samt værforholdene i blomstringsfasen for hvert felt vises i tabell 4.1.3. Felt V19 hadde kortest blomstringsfase og lavest varmesum og gjennomsnittlige døgnmiddeltemperatur, men nest høyest nedbørsmengde og luftfuktighet. Felt V20 hadde lengst blomstringsfase og høyest varmesum, gjennomsnittlig døgnmiddeltemperatur, nedbør og luftfuktighet. Felt A18 hadde nest lengst blomstringsfase, nest høyest varmesum og høyest total og gjennomsnittlig globalstråling, men lavest nedbørsmengde og luftfuktighet.

Tabell 4.1.3. Lengde, dato og ulike værparametere i blomstringsfasen for hvert felt.

Felt	A18	A19	V19	V20
Antall dager	27	26	25	31
Uke	24-27	26-30	25-28	24-28
Luft middeltemp., gj. snitt (°C)	16.3	15.9	15.9	16.3
Luft middeltemp., min.-maks. (°C)	9.5-21.5	10.1-21.3	12.4-19	11.8-23.3
Lufttemp., min.-maks. (°C)	6-28.5	6.3-27.6	4.5-27.1	4.6-31.3
Jordtemp., gj. snitt (°C)	20.5	15.6	15.8	17.1
Nedbør + vanning tot. (mm)	45.3	50.2	57.4	149.9
Relativ luftfuktighet, gj. snitt (%)	56.0	65.3	68.2	72.9
Globalstråling, tot. (W/m ²)	631.1	539.4	571.7	623.2
Globalstråling, gj. snitt (W/m ²)	22.5	20.0	22.0	19.5

Varmesummer for den vegetative fasen (fra såing til begynnende blomstring), blomstringsfasen (fra begynnende til avsluttende blomstring) og fra såing til avsluttende blomstring vises i tabell 4.1.4, med gjennomsnitt og standardavvik. Varmesum for den vegetative fasen varierte med 71°d, og varmesum for blomstringsfasen varierte med 108°d. I henhold til McDonald et al. (1994) som observerte varmesumkrav for blomstring på mellom 611-972°d, hadde felt A18 et unormalt lavt varmesumkrav på kun 599°d. Resten av feltene, samt gjennomsnittet lå innenfor normalen.

Tabell 4.1.4. Varmesummer (d[°]) for ulike utviklingsperioder for hvert felt og gjennomsnitt for alle felt med standardavvik (SD).

Felt	A18	A19	V19	V20	Gj. snitt	SD
Varmesum fra ...						
Såing til begynnende blomstring	599	656	670	627	638	27
Begynnende til avsluttende blomstring	455	430	413	521	455	41
Såing til avsluttende blomstring	1039	1069	1068	1126	1075	32

4.2. Resultater og diskusjon av hvert felt

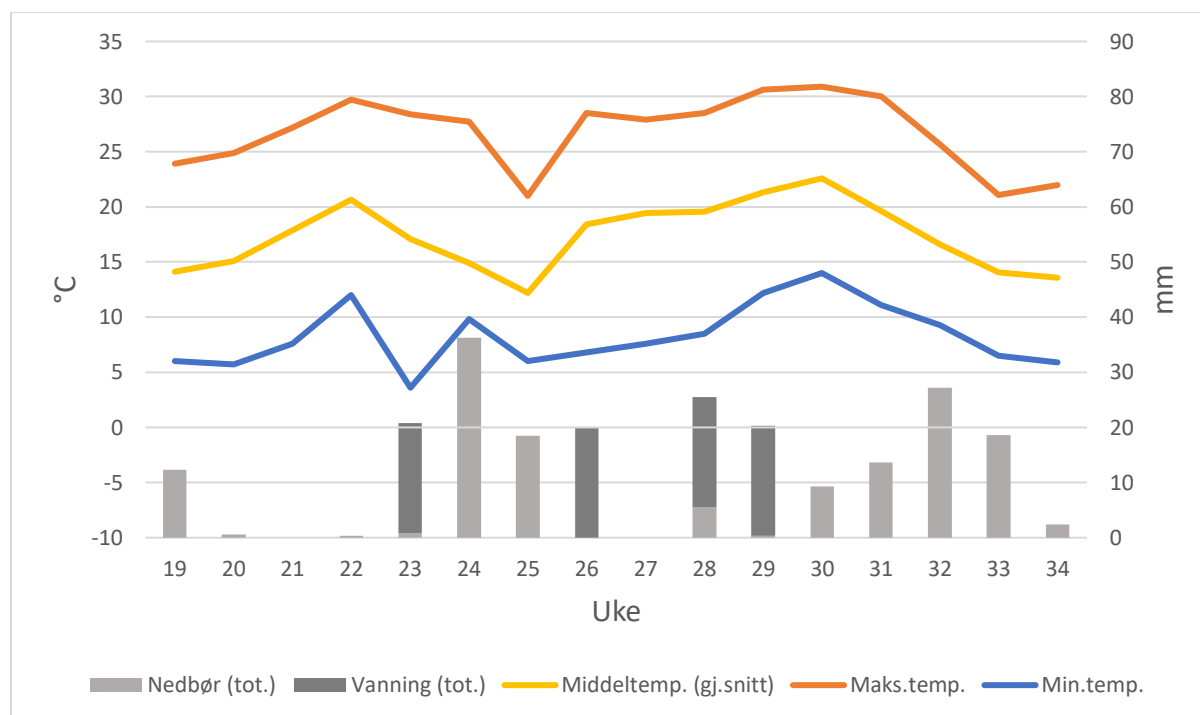
Frøutvikling og frømodning ble karakterisert i dette studiet ved å måle frøenes vekt og vanninnhold gjennom frøutviklingsfasen. Analyse med Minitabs «Mixed Effect Model» viste at det var statistisk signifikans mellom alle uttak og variabler (FW, DW, RWC) for alle forsøksfelter med $p < 0.0001$. For behandling var det kun RWC på felt V19, samt FW og DW på felt V20 som viste statistisk signifikans med p-verdier på henholdsvis 0.012, 0.002 og 0.003. For samspillet mellom behandling og uttak var det kun RWC på felt A18 som viste statistisk signifikans med $p = 0.024$. Viser til vedlegg 6, 7, 8 og 9 for alle variansanalyser for alle felter. Det må imidlertid tas i betraktning at det kun var to gjentak per uttak med samme behandling, noe som gjør at sannsynligheten for at tilfeldig variasjon i dataene vil påvirke statistikken er stor. Middeltallene viser at det ikke er noen tendenser til forskjeller mellom behandlinger (se vedlegg 1, tabell V1), og det blir derfor antatt at behandling ikke

har noen effekt på FW, DW eller RWC. Gjennomsnittsverdier for FW, DW og RWC per frø for hver behandling for hvert felt vises derfor kun i vedlegg, tabell V2.2, V3.2, V4,2 og V5,2, og figur V2.1, V3.1, V4.1 og V5.1.

Videre blir værdata og resultater fra uttakene for hvert felt presentert, og frøutviklingen blir diskutert opp imot værdataene.

4.2.1. Apelsvoll 2018

Figur 4.2.1 viser gjennomsnittlig døgnmiddeltemperatur, maksimums- og minimumstemperatur i lufta og nedbør per uke på Apelsvoll fra feltet ble sådd 9. mai (uke 19) til det ble høstet 22. august (uke 34) i 2018. Det var en svært tørr sesong, med totalt 145.7 mm nedbør. De første ukene etter at det ble sådd var det minimalt med nedbør. Derfor ble feltet vannet med 20 mm i uke 23. I den vegetative utviklingsfasen fra såing til blomstring uke 19-24, lå døgnmiddeltemperaturen på 10.6-22.9°C, med et snitt på 17.2°C. To dager før begynnende blomstring, 10.-11. juni, kom det 35 mm nedbør. I blomstringsfasen, uke 24-27, var det kun én dag med mye nedbør, 14.3 mm den 17. juni, og det ble vannet 20 mm i uke 26. I denne fasen varierte temperaturene på mellom 6-28.5°C, og døgnmiddeltemperaturen lå på under 20°C med unntak av 6 dager. Ukene etter blomstring var det også tørt, så det ble vannet ytterligere 20 mm i uke 28 og 29. De siste ukene før feltet ble høstet kom det moderat med nedbør.



Figur 4.2.1. Ukentlig døgnmiddeltemperatur (gj. snitt), maksimumstemperatur, minimumstemperatur i lufta (primærakse i °C) og total nedbør (sekundærakse i mm) på Apelsvoll i 2018, uke 19-34. Mengden kunstig vanning på feltet vises oppå stolpene for nedbør (sekundærakse i mm).

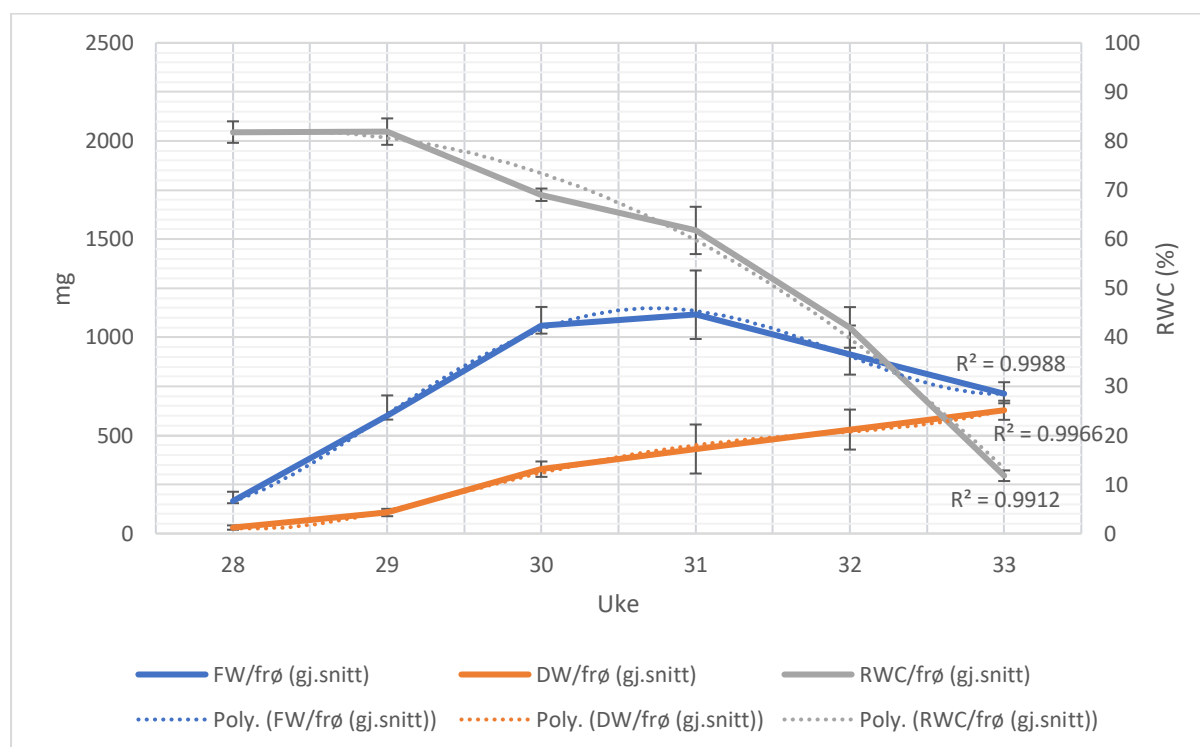
Tabell 4.2.1 viser varmesum fra såing, begynnende blomstring og avsluttende blomstring til alle uttakene fra uke 28-33. Denne sesongen var det varmere enn normalt på Apelsvoll

(Stabbetorp et al., 2021), noe som resulterte i en unormalt høy varmesummen tidlig om høsten.

Tabell 4.2.1. Varmesum (°d) fra såing, begynnende blomstring og avsluttende blomstring til uttakene fra uke 28-33 på felt A18.

Uke	28	29	30	31	32	33
Varmesum fra ...						
såing-uttak	1081	1206	1357	1510	1638	1754
beg. bl.-uttak	497	623	774	927	1054	1171
avsl. bl.-uttak	58	183	334	487	614	731

Figur 4.2.2 viser frøenes gjennomsnittlige FW, DW og RWC fra første uttak 11. juli (uke 28) til siste uttak 15. august (uke 33) på felt A18. Viser til vedlegg 2, tabell V2.1 for datagrunnlag. FW hadde en sterk økning fra uke 28-30 og en svakere økning til uke 31 hvor toppunktet ble nådd på 1116 mg. Deretter gikk FW ned fram til siste uttak i uke 33 på 712 mg. DW økte fra 30.5-628.2 mg og hadde en lineær økning fra uke 30-33. RWC holdt seg stabil på 82% i uke 28-29. Deretter gikk RWC raskere nedover for hver uke, med unntak av fra uke 30-31 hvor reduksjonen var mindre. Siste uka sank RWC med 4.3% enheter per dag fra 42% til 11.8%.



Figur 4.2.2. Gjennomsnittlig FW (mg), DW (mg) og RWC (%) per frø ved ukentlige uttak fra uke 28-33 fra felt A18. Standardavvik vises for hvert uttak (vertikale linjer) og polynomiallinjer for hver variabel (stipla linjer) vises med tilhørende R²-verdi.

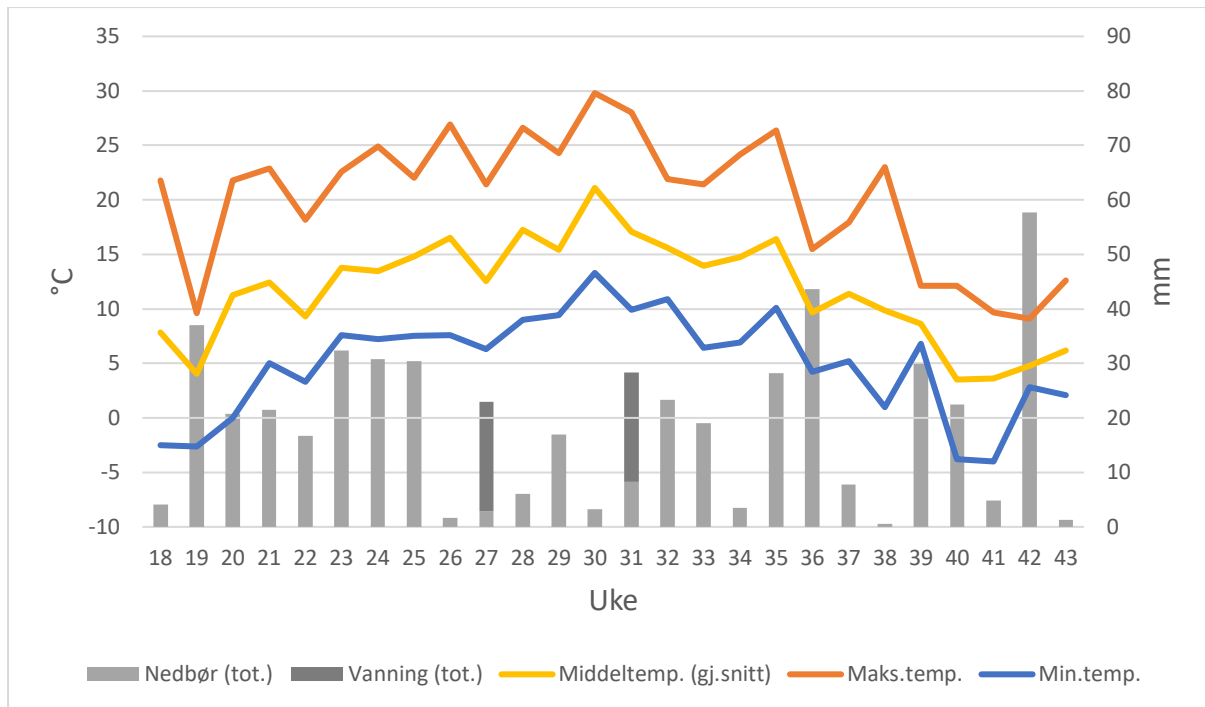
Basert på observasjonene til Lidon et al. (2001) om at den optimale temperaturen for vegetativ utvikling er 12-20°C, var temperaturen i den vegetative fasen gunstig, ± 3°C. Feltet modnet tidlig, og derfor ble siste uttak utført allerede 15. august. Tidlig modning skjedde antakeligvis fordi det var en spesielt tørr og varm sesong. Perioder med høye temperaturer og tørkestress kan ha ført til at planteutviklingen i disse periodene gikk raskere på grunn av varme- og tørkestress. Dette er en slags overlevelsesmekanisme planten har for å sikre

frøsetting og reproduksjon. Plantene fikk sannsynligvis oppfylt mye av kravet til varmesum gjennom mai, juni og juli, og ble modne i august under fortsatt ganske høye døgnmiddeltemperaturer. Dette ga grunnlag for en rask nedtørking, til tross for at det kom noe nedbør. Tørke kan ha ført til at det ikke ble produsert nok blader for tilstrekkelig fotosyntese, noe som kan ha påvirket blomstring og ført til abortering av blomster. Ifølge Ellis et al. (1988) er den optimale temperaturen for blomstring 20-25°C. Det var flere dager med lavere døgnmiddeltemperatur enn 20°C i blomstringsfasen, noe som også kan ha vært med på å bidra til abortering av blomster og at det ble produsert få belger.

Ifølge dataene økte DW helt fram til siste uttak, noe som ikke var forventet. Hypotesen var at DW ville flate ut når innlagringen av frøene stoppet opp. Årsaken til at dette ikke skjedde kan skyldes at det var lite representativt uttak av belger, siden standardavvikene fra uke 31 og 32 var spesielt høye. Harrington et al. (1997) fant at frøene var fysiologisk modne når frøbladenes RWC lå på ca. 47%. Frøet består hovedsakelig av frøblader. Det er derfor rimelig å anta at frøbladenes RWC derfor kun er litt høyere enn hele frøets RWC med frøskall, fordi frøskallet inneholder mindre vann. Frøene var antagelig fysiologisk modne allerede i uke 32, da økning i DW trolig hadde stoppet opp (dersom standardavvikene tas i betraktning) og RWC var 42%.

4.2.2. Apelsvoll 2019

Figur 4.2.3 viser gjennomsnittlig døgnmiddeltemperatur, maksimums- og minimumstemperatur i lufta og nedbør per uke på Apelsvoll i 2019 fra feltet ble sådd 1. mai (uke 18) til det ble høstet 23. oktober (uke 43). I april, måneden før det ble sådd, var det minimalt med nedbør. I den vegetative utviklingsfasen fra uke 18-26 var det moderat med nedbør, totalt 194.1 mm. Døgnmiddeltemperaturen i denne fasen lå på 0.2-17.7°C, med et snitt på 11°C. I blomstringsfasen uke 26-30 regnet det totalt 30.2 mm, og det ble vannet 20 mm i uke 27. Temperaturen i denne fasen varierte fra 6.3-27.6°C, og døgnmiddeltemperaturen lå på 10.1-21.3°C, med et snitt på 15.9°C. Uke 31 ble det vannet 20 mm igjen. Deretter var det moderat med nedbør fram til modning, for så å regne kraftig i uke 42 før siste uttak.



Figur 4.2.3. Ukentlig døgnmiddeltemperatur (gj. snitt), maksimumstemperatur, minimumstemperatur i lufta (primærakse, °C) og total nedbør (sekundærakse, mm) på Apelsvoll i 2019, uke 14-43. Mengden kunstig vanning på feltet vises oppå stolpene for nedbør (sekundærakse, mm).

Tabell 4.2.2 viser varmesum fra såing, begynnende blomstring og avsluttende blomstring til alle uttakene fra uke 31-43. Temperaturen denne sesongen var normal for Apelsvoll (Stabbetorp et al., 2021).

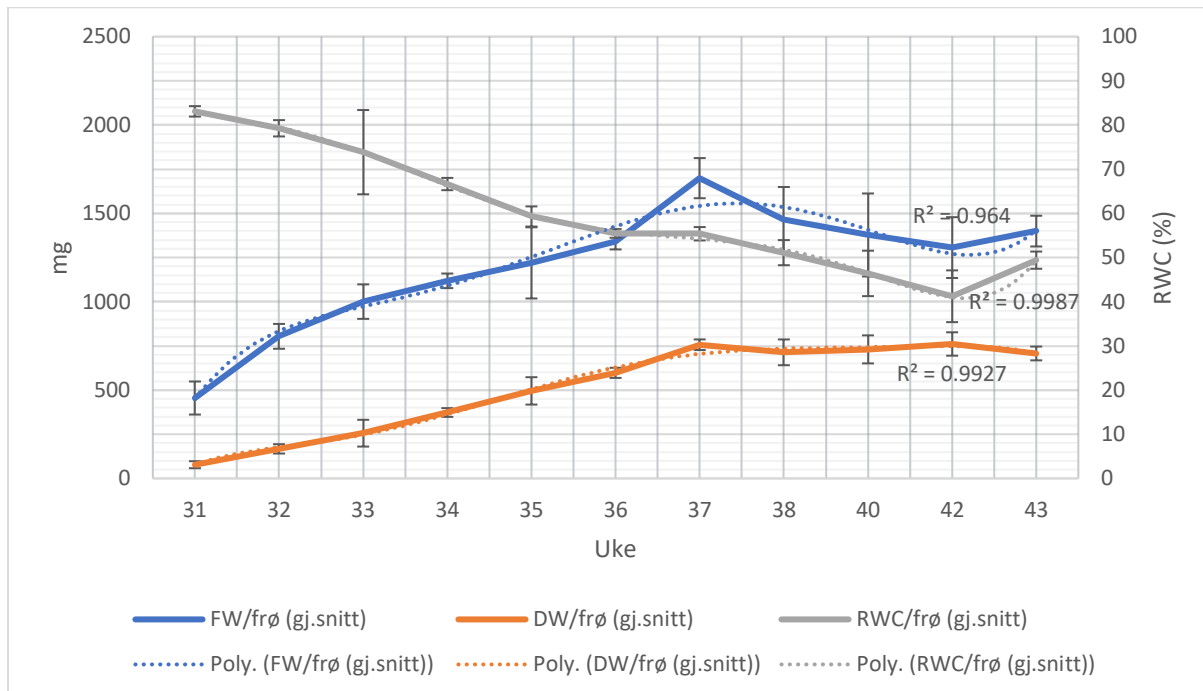
Tabell 4.2.2. Varmesum (°d) fra såing, begynnende blomstring og avsluttende blomstring til uttakene fra uke 31-43 på felt A19.

Uke	31	32	33	34	35	36	37	38	40	42	43
Varmesum fra ...											
såing-uttak	1195	1310	1419	1514	1626	1725	1795	1870	1992	2041	2073
beg. bl.-uttak	556	671	779	875	986	1086	1156	1230	1353	1401	1434
avsl. bl.-uttak	148	263	371	467	578	677	747	822	944	993	1026

Figur 4.2.4 viser frøenes gjennomsnittlige FW, DW og RWC fra første uttak 30. juli (uke 31) til siste uttak 22. oktober (uke 43) på felt A19. Viser til vedlegg 3, tabell 3.1 for datagrunnlag. FW økte fra uke 31-37 og nådde toppunktet i uke 37 på 1699 mg. Deretter sank FW til 1306 mg i uke 42 for så å øke til 1400 mg i uke 43. DW økte fra uke 31-37 opp til 757 mg, for så å flate ut. Standardavvikene viser at de små variasjonene etter uke 37 er innenfor tilfeldig variasjon. RWC gikk gradvis nedover fra uke 31-36, forandret seg minimalt til uke 37 og gikk gradvis nedover igjen fra uke 37-42 hvor bunnpunktet ble nådd på 41%. Siste uka økte RWC til 49%.

Det ble valgt å utelukke uttak fra ett gjentak fra én rute i uke 37, fordi FW og DW per frø var usannsynlig høyt. Rådataene viste at det ble veid 14 frø, som var betydelig lavere enn for resten av uttakene på 19-31 frø. Det er sannsynlig at det ble oppgitt et lavere antall frø enn det som faktisk ble veid, noe som resulterte i høyere vekt per frø enn normalt. Til tross for dette, viser allikevel resultatene en tydelig topp for FW denne uka. DW økte også for så å synke igjen, noe som ikke er sannsynlig. Her må standardavvikene tas med i tolkningen, som

viser at disse utslagene ikke er signifikante. De tilpassede kurvene kan være mer riktige. Det er også mulige menneskelige feilkilder ved hvert uttak.



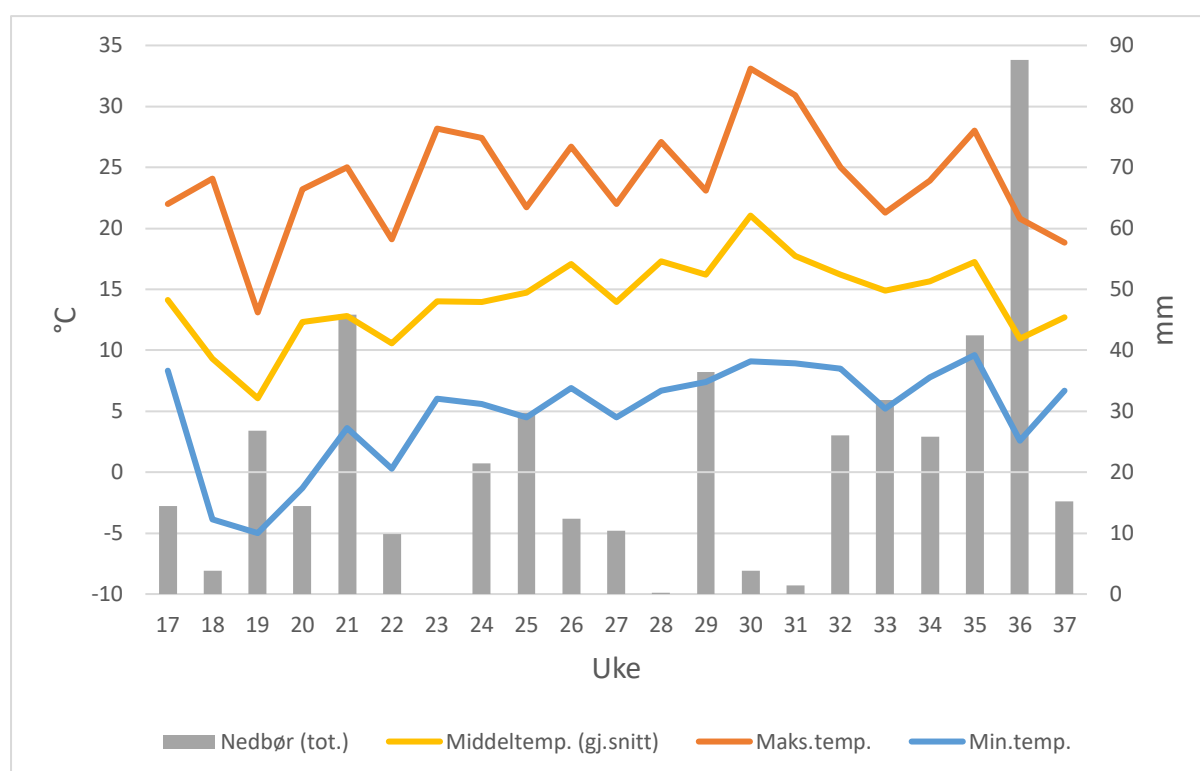
Figur 4.2.4. Gjennomsnittlig FW (mg), DW (mg) og RWC (%) per frø ved ukentlige uttak fra uke 31-38 og 42-43 og uttak annenhver uke fra uke 38-42 fra felt A19. Standardavvik vises for hvert uttak (vertikale linjer) og polynomiallinjer for hver variabel (stipla linjer) vises med tilhørende R^2 -verdi.

Denne sesongen var det kjøligere enn optimalt. I den vegetative fasen var den gjennomsnittlige døgnmiddeltemperaturen 11°C . I blomstringsfasen var det kun to dager med døgnmiddeltemperaturer over 20°C , og minimumstemperaturen var lav, under 12°C i uke 26-29. Den reproduktive fasen er mest sensitiv til kjølige temperaturer på $0-12^{\circ}\text{C}$ (Thakur et al., 2010), noe som blant annet kan ha forårsaket høyere blomsterabortering og dermed lavere avling. I uke 36 kom det mye nedbør, 43.6 mm. Dette kan forklare hvorfor reduksjonen i RWC stoppet opp og holdt seg stabil på 55% fra uke 36-37, og at FW gikk unormalt høyt opp. I uke 42 var DW på sitt høyeste på 761 mg. Den kraftige nedbøren i uke 42 gjorde at frøene tok til seg mye vann, noe som resulterte i en økning i FW og RWC i uke 43. Resultatene for FW og RWC i uke 42 hadde imidlertid et høyt standardavvik, og er dermed noe usikre. Disse resultatene støtter hypotesen om at når stofftransporten stopper opp, vil frøets vanninnhold være avhengig av været. Ved hyppig regn vil vanninnholdet gå opp og ned avhengig av nedbøren. I uke 37 fikk FW en unormalt høy topp. Når planta er under utvikling, blir vanninnhold påvirket av hvilket utviklingsstadium planten er i, det genetiske. Det er først når planta har visna og frøene er modne at ytre faktorer som nedbør og jordfuktighet påvirker vanninnholdet. Plantene var fortsatt grønne og under utvikling i uke 37, og derfor er det grunn til å tro at den kraftige økningen i FW skyldes menneskelige feil, at det ble høstet større og grønnere planter ved dette uttaket. Standardavvikene for FW uke 37-42 var høye, noe som gir usikkerheter i resultatene. Den tilpassede kurven kan være mer riktig. Nedtørkingen av frøene gikk sent på grunn av lave temperaturer og mye nedbør. Fra uke 41 til 42 endret DW seg lite og RWC gikk ned en del. Det antas at frøene var fysiologisk modne i uke 40, da RWC lå på 46.41%. Plantene var imidlertid fortsatt grønne på denne tiden. Det må presiseres at det var kun de nederste belgene som lå til grunn for

dataene. Det er som regel de nederste belgene som modnes først (GRDC, 2017), og det var dermed ikke er sikkert at de øverste belgene hadde nådd modning.

4.2.3. Vollebekk 2019

Figur 4.2.5 viser gjennomsnittlig døgnmiddeltemperatur, maksimums- og minimumstemperatur i lufta og nedbør per uke på Vollebekk i 2019 fra feltet ble sådd 25. april (uke 17) til det ble høstet 13. september (uke 37). Det var jevnt med nedbør denne sesongen, så det ble derfor ikke tilført ekstra vann på feltet. I uke 19 var middel- og minimumstemperaturen lavest på henholdsvis 6°C og -5°C. I den vegetative utviklingsfasen fra uke 17-25 varierte døgnmiddeltemperaturen på mellom 2.6-18.5°C, med et snitt på 11.7°C. I blomstringsfasen uke 25-28 varierte temperaturen på mellom 4.5-27.1°C. Døgnmiddeltemperaturen lå på 12.4-19°C, med et snitt på 15.9°C. I uke 31 var middel- og maksimumstemperaturen høyest på henholdsvis 21 og 33.1°C. I uke 36 kom det mye nedbør, 87.5 mm.



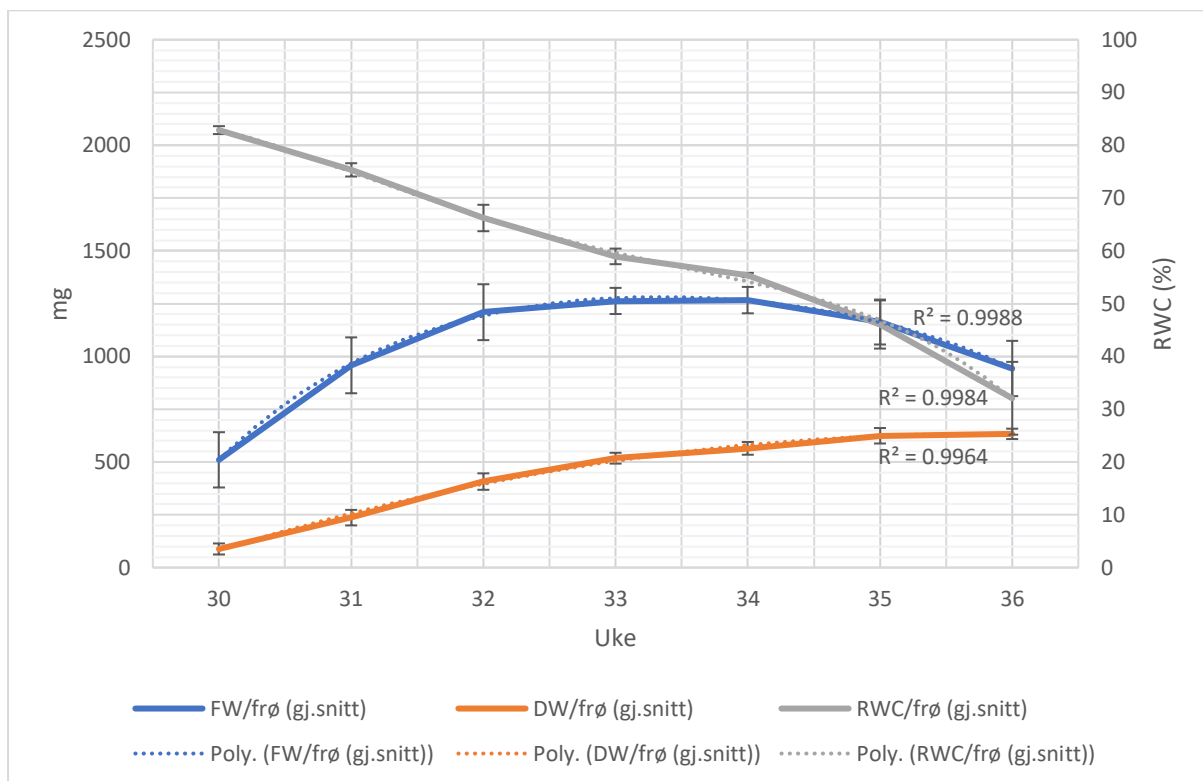
Figur 4.2.5. Ukentlig middeltemperatur (gj. snitt), maksimumstemperatur, minimumstemperatur i lufta (primærakse, °C) og total nedbør (sekundærakse, mm) på Vollebekk i 2019, uke 17-37.

Tabell 4.2.3 viser varmesum fra såing, begynnende blomstring og avsluttende blomstring til alle uttakene fra uke 30-36. Denne sesongen var det litt varmere enn normalt på Ås (Stabbetorp et al., 2021).

Tabell 4.2.3. Varmesum (°d) fra såing, begynnende blomstring og avsluttende blomstring til uttakene fra uke 30-36 på felt V19.

Uke	30	31	32	33	34	35	36
Varmesum fra ...							
såing-uttak	1220	1365	1483	1596	1699	1818	1919
beg. bl.-uttak	565	710	828	941	1044	1163	1264

Figur 4.2.6 viser frøenes gjennomsnittlige FW, DW og RWC fra første uttak 24. juli (uke 30) til siste uttak 4. september (uke 36) på felt V19. Viser til vedlegg 4, tabell 4.1 for datagrunnlag. FW økte kraftig fra uke 30-32, nådde et toppunkt i uke 34 på 1267 mg, for deretter å reduseres fra uke 34-36 til 943 mg. DW hadde en jevn stigning fra uke 30-33 til 407 mg, en svakere stigning til uke 35, for så å øke minimalt til uke 36 hvor toppunktet ble nådd på 633 mg. RWC sank jevnt fra uke 30-33 til 66%, hadde en svakere reduksjon til uke 34, for så synke kraftigere til uke 35 og enda kraftigere til uke 36 hvor bunnpunktet ble nådd på 32%.



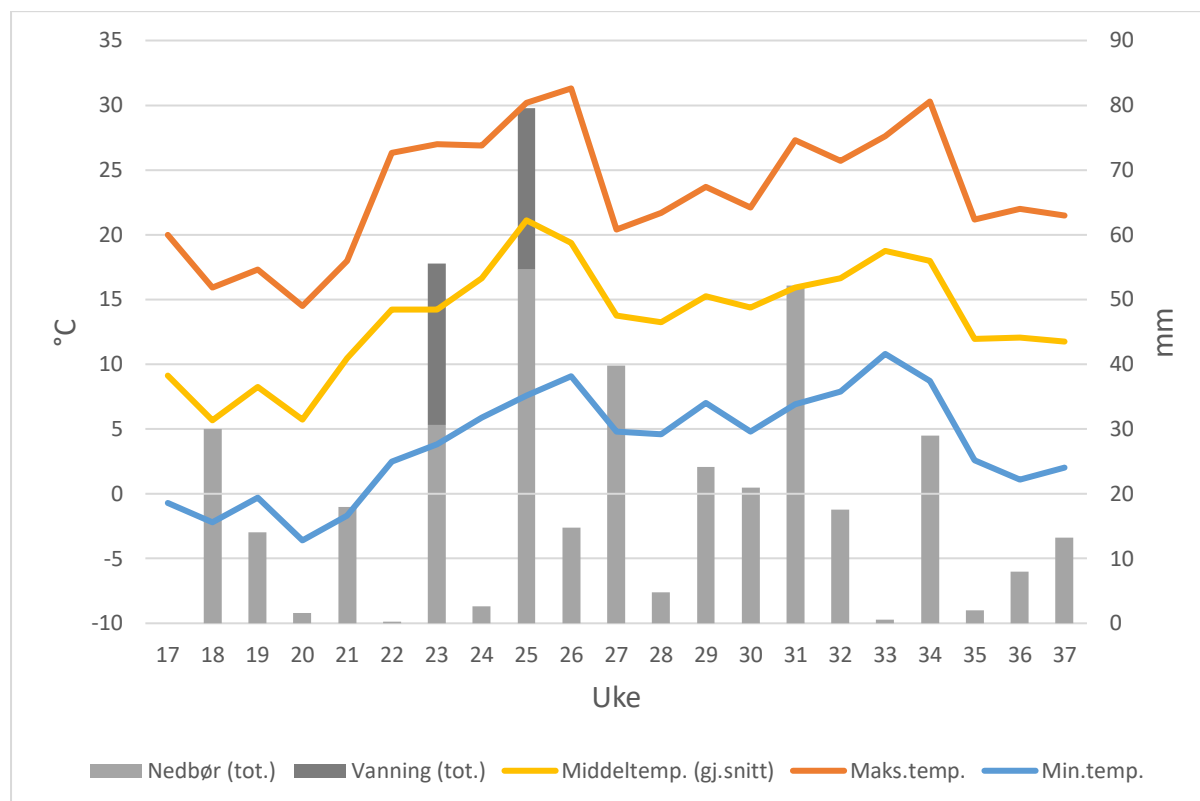
Figur 4.2.6. Gjennomsnittlig FW (mg), DW (mg) og RWC (%) per frø ved ukentlige uttak fra uke 30-36 fra felt V19. Standardavvik vises for hvert uttak (vertikale linjer) og polynomiallinjer for hver variabel (stipla linjer) vises med tilhørende R^2 -verdi.

I den vegetative fasen og blomstringsfasen var det kjøligere enn optimalt, da den gjennomsnittlige døgnmiddeltemperaturen lå på henholdsvis 11.7 og 15.9°C, og det ikke var noen dager med døgnmiddeltemperaturer over 20°C i disse fasene. Dette kan ha påvirket belgutviklingen negativt. Det var imidlertid jevnt med nedbør denne sesongen, og jorda holdt seg fuktig gjennom sesongen. Fra uke 34 til 35 hadde DW stabilisert seg, og FW og RWC gikk brattere ned. Det er derfor antatt at frøene på var modne i uke 35.

4.2.4. Vollebekk 2020

Figur 4.2.7 viser gjennomsnittlig døgnmiddeltemperatur, maksimums- og minimumstemperatur i lufta og nedbør per uke fra feltet ble sådd 23. april (uke 17) til det ble høstet 11. september (uke 37) på Vollebekk i 2020. Det kom moderat med nedbør denne sesongen, og det ble det vannet 25 mm i uke 23 og 25. Middel- og

minimumstemperaturen var lavest i uke 20 på henholdsvis 5.7 og -3.6°C. I den vegetative fasen fra uke 17-24 lå døgnmiddeltemperaturen på 3.3-21.8°C, med et snitt på 11°C. I blomstringsfasen fra uke 24-28 varierte temperaturen på 4.6-31.3°C. I uke 25 kom det mest nedbør, 54.6 mm, og døgnmiddeltemperaturen var høyest på 21.1°C. I uke 26 nådde maksimumstemperaturen et toppunkt på 31.3°C. I uke 27 droppet temperaturen kraftig. I uke 33-34 ble temperaturen høy igjen, for så å droppe kraftig i uke 35 og holdt seg stabilt lav til uke 37.



Figur 4.2.7. Ukentlig middeltemperatur (gj. snitt), maksimumstemperatur, minimumstemperatur i lufta (primærakse, °C) og total nedbør (sekundærakse, mm) på Vollebakk i 2020, uke 17-37. Mengden kunstig vanning på feltet vises oppå stolpene for nedbør (sekundærakse, mm).

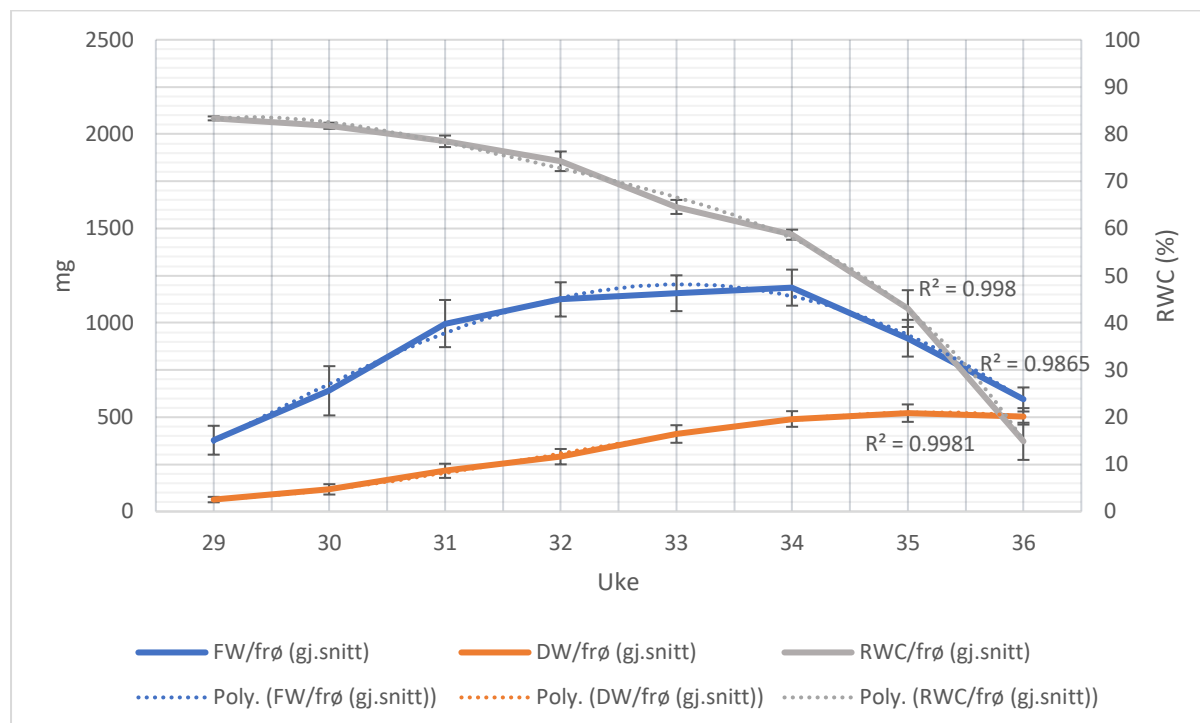
Tabell 4.2.4 viser varmesum fra såing, begynnende blomstring og avsluttende blomstring til alle uttakene fra uke 29-36. Denne sesongen var det litt varmere enn normalt på Ås (Stabbetorp et al., 2021).

Tabell 4.2.4. Varmesum (°d) fra såing, begynnende blomstring og avsluttende blomstring til uttakene fra uke 30-36 på felt V19.

Uke	29	30	31	32	33	34	35	36
Varmesum fra ...								
såing-uttak	1080	1185	1286	1398	1527	1659	1764	1846
beg. bl.-uttak	474	579	680	792	922	1053	1158	1240
avsl. bl.-uttak	0	74	175	287	416	548	653	735

Figur 4.2.8 viser frøenes gjennomsnittlige FW, DW og RWC fra første uttak 15. juli (uke 29) til siste uttak 2. september (uke 36) på felt V20. Viser til vedlegg 5, tabell 5.1 for datagrunnlag. FW økte raskt uke 29-31 fra 377.8-996 mg og hadde en slakere stigning til uke 34 hvor toppunktet på 1186.3 mg ble nådd. Deretter sank FW raskt til uke 36 til 593.7 mg.

DW hadde en slak stigning uke 29-34 fra 63.2-490.3 mg. Så var det en minimal økning til uke 35 hvor toppunktet på 521.3 mg ble nådd, for så å reduseres minimalt til 504.2 mg uke 36. RWC endret seg lite de første ukene to ukene, men sank raskere for hver uke med unntak av uke 33-34. Siste uka gikk RWC kraftig ned fra 43-14.9% hvor bunnpunktet ble nådd i uke 36.



Figur 4.2.8. Gjennomsnittlig FW (mg), DW (mg) og RWC (%) ved ukentlige uttak fra uke 29-36 fra felt V20. Standardavvik vises for hvert uttak (vertikale linjer) og polynomiallinjer for hver variabel (stipla linjer) vises med tilhørende R²-verdi.

Temperaturen holdt seg relativt høy gjennom hele sesongen, og det var bra med nedbør. I den vegetative fasen og blomstringsfasen var det imidlertid litt kjøligere enn optimalt, da den gjennomsnittlige døgnmiddeltemperaturen lå på henholdsvis 11 og 16.3°C. Fra uke 34 til 35 endret DW seg lite, og RWC sank raskt til 43%. Derfor var frøene antakeligvis fysiologisk modne i uke 35. Det var rask nedtørking siste uka, og frøene nådde et svært lavt vanninnhold.

4.3. Sammenstilling og sammenlikning av resultater fra alle felter

Tabell 4.3.1 viser utvalget av fire uttak fra hvert felt som i størst mulig grad var på samme utviklingsstadium. Frøenes RWC og varmesum fra begynnende blomstring ble brukt som kriterier for utvalget. Et intervall på to dager ble godtatt, som ga et standardavvik på omtrent 30 døgngrader. Uttakene fikk nye koder for utviklingsstadium U1-U4. Gjennomsnittlig varmesum, RWC, FW/frø og DW/frø for hvert felt med standardavvik og totale gjennomsnitt er vist i denne tabellen. A18 skiller seg ut ved U4 med spesielt lav RWC, som skyldes at det var spesielt tørt denne sesongen. Minitabs «Mixed effect models» viste at alle variablene (FW, DW og RWC) for alle utviklingsstadier (U1-U4) var statistisk signifikante med $p < 0.0001$. Tukeys multisammenlikningstest ble brukt for å finne hvilke data innenfor variablene som viste statistisk signifikans, og er vist i tabellen som opphøyde bokstaver etter tallet fra A-D. Behandling (B2-B4) innenfor hvert utviklingsstadium var statistisk signifikant for RWC på felt A18, nær signifikant for RWC på felt V19 og signifikant

for samspillet mellom utviklingsstadium og behandling for RWC på felt A18 med p-verdier på henholdsvis 0.047, 0.058 og 0.015. Det var ingen signifikante forskjeller mellom behandlinger for FW eller DW på noen av feltene. Viser til vedlegg 10 for alle variansanalyser. Middeltallene til behandling for RWC for A18 og V19 viste høyeste verdier for B4 (smittet og gjødslet) (se vedlegg 11, tabell V11). Det kan tolkes som at smitting og gjødsling kan gi en høyere RWC gjennom modningsperioden, en indikasjon på at modningen skjer litt senere. Det er sannsynlig at økt tilgang på nitrogen for plantene, gjennom økt effektivitet av biologisk nitrogenfiksering eller gjødsling kan gi litt utsatt modning. Men B4 var ikke signifikant forskjellig for RWC på de andre feltene. Det må også tas i betraktning at det kun var to gjentak per uttak med samme behandling, noe som gjør at sannsynligheten for at tilfeldig variasjon i dataene vil påvirke statistikken er stor.

Tabell 4.3.1. Utvalg av uttak (U1-U4) fra alle felter med liknende varmesum ($^{\circ}$ d) fra begynnende blomstring til uttak og liknende gjennomsnittlig RWC (%) ved uttak, samt total gjennomsnittlig varmesum, RWC, FW/frø og DW/frø med standardavvik.

Kode	U1	U2	U3	U4
Varmesum ($^{\circ}$d)				
A18	622	774	927	1171
A19	556	779	986	1156
V19	565	828	941	1163
V20	579	792	922	1158
Gj. snitt	580.5	793.25	944	1162
SD	29.24	24.38	29.13	6.68
RWC (%)				
A18	82	69	62	12
A19	83	74	59	56
V19	83	66	59	46
V20	82	74	65	43
Gj. snitt	82.5 ^A	70.75 ^B	61.25 ^C	39.25 ^D
SD	0.58	3.95	2.87	19.00
FW/frø (mg)				
Gj. snitt	551 ^B	1097.75 ^A	1189 ^A	1169.25 ^A
SD	83.91	89.60	65.29	510.92
DW/frø (mg)				
Gj. snitt	97.5 ^D	320.5 ^C	463.75 ^B	650.75 ^A
SD	17.71	64.73	51.33	129.36

Tabell 4.3.2 viser resultater av ulike avlingskomponenter for hvert felt basert på data fra siste uttak eller hele avlingen. Antall frø per belg varierte lite mellom feltene, med 0.3 enheter. Felt V19 skilte seg mest ut og hadde signifikant høyere antall frø per belg enn feltene A18 og A19. Felt A18 hadde det laveste antallet, men var kun signifikant lavere enn V19. Antall frø per belg bestemmes i prelagringsfasen av frøutviklingen, noe som skjer rett etter befruktning. Værforholdene rett etter blomstringsfasen kan derfor antas å spille en rolle i bestemmelsen av antall frø per belg og dermed også den totale avlingen. På felt V19 der antall frø per belg var høyest, var værforholdene i uke 20, uka etter blomstring, relativt gode (Figur 4.2.6). Det kom moderat ned nedbør, 36.4 mm, og døgnmiddeltemperaturen varierte mellom 15.8-17.1, med et snitt på 16.2 $^{\circ}$ C. På felt A18 der antall frø per belg var lavest, var det null nedbør (Figur 4.2.1), og plantene led muligens av tørkestress.

Når det gjaldt hvilket nodium-nummer første belg ble dannet fra, var A18 og A19 signifikant forskjellige fra V19 og V20. Første belg kom på nodium nummer 7 på Apelsvoll (2018+2019)

og 8 på Vollebekk (2019+2020) (Tabell 4.3.2). Mellom Apelsvoll og Vollebekk var det ingen forskjeller i værforhold verken de to ukene før blomstringsfasen når trolig strekningsveksten fant sted, eller i blomstringsfasen. Basert på disse resultatene kan en ikke konkludere med hva som styrer hvilke nodium første blomst kommer på. Det var ulike personer som registrerte resultatene på Apelsvoll og Vollebekk, og det kan ha vært en forskjell i hvordan nodiene ble talt opp.

Det var stor variasjon i FW/frø ved siste uttak mellom felter, og mindre variasjon i DW/frø (Tabell 4.3.2). Frøenes RWC av hele avlingen varierte også mye, fra 17.9% på felt V20 til 55.5% på felt A19. Ifølge Øverland (2020) var det kun felt V20 som hadde optimal RWC for tresking, på ca. 18%. Resultatene viste store forskjeller på frøenes RWC ved siste uttak i forhold til RWC av tresket avling. Årsaken er at ved uttakene ble kun de nederste nodiene høstet. De nederste belgene modnes som regel først og får derfor tidligere en lavere RWC.

Det var stor variasjon i avlingene, fra 160.6 kg/daa på felt A18 til 895.4 kg/daa på V19 (Tabell 4.3.2). Alle feltene bortsett fra A18 fikk en avling over gjennomsnittet i Norge som ifølge Abrahamsen et al. (2019) er på 350 kg/daa. Selv om felt A18 fikk en svært lav avling, ble det produsert omtrent likt antall frø per belg, og det var god kvalitet og størrelse på de frøene som ble utviklet. Derfor må årsaken til den lave avlingen være at det ble produsert svært få belger. Dette viser at åkerbønne har stor fleksibilitet til å innstille seg etter forholdene og klarer å utvikle frø av normal størrelse og kvalitet som sikrer god spireevne selv under ugunstige forhold.

Tabell 4.3.2. Avlingskomponenter for hvert felt og gjennomsnitt og standardavvik (SD) for alle.

Felt	A18	A19	V19	V20	Gj. snitt	SD
Antall frø/belg ^a	3.2	3.2	3.5	3.4	3.3	0.1
Første belg fra nodie nr. ^a	6.7	6.9	7.7	8.1	7.4	0.6
FW/frø ^b (mg)	712.4	1399.7	942.9	593.7	912.2	308.2
DW/frø ^b (mg)	628.2	707.4	633.2	504.2	618.3	72.9
RWC ^c (%)	22.7	55.5	34.0	17.9	32.5	14.5
Avling ^c (kg/daa)	160.6	406.5	895.4	552.4	503.7	266.0

^a gj. snitt av alle uttak, belger tatt kun fra nederste nodier.

^b gj. snitt av siste uttak, belger tatt kun fra nederste nodier.

^c gj. snitt av hele avlingen, alle belger.

Frøene er fysiologisk modne når stofftransporten inne i frøene stopper opp, og dette vises ved at DW slutter å øke og at frøenes RWC går opp og ned avhengig av værforhold. Tabell 4.3.3 gir en oversikt over tidspunkt og ulike variabler ved antatt fysiologisk modning. Frøene på felt A18 modnet tidlig på grunn av tørke, og var fysiologisk modne allerede i uke 32 med RWC på 42% og DW på 530 g. Felt A19 modnet opptil to måneder senere enn de andre feltene på grunn av kjølige, fuktige forhold. Varmesum fra såing og begynnende blomstring til modning ble dermed en god del høyere enn for de andre feltene. Frøene var modne i uke 40, da RWC var 46.4% og DW hadde stabilisert seg på 730 g. Høy varmesum og DW kan skyldes at feltet modnet opptil to måneder senere enn de andre feltene. Felt V19 ble modent i uke 35 da RWC var 46.1% og DW hadde stabilisert seg på 624 g. Felt V20 var også modent i uke 35, da RWC hadde sunket til 43% og DW hadde stabilisert seg på 521 g.

Tabell 4.3.3. Tid, antall dager og varmesummer (d°), samt gjennomsnittlig FW (mg), DW (mg) og RWC (%) per frø ved antatt fysiologisk modning for hvert felt og gjennomsnitt og standardavvik (SD) for alle.

Felt	A18	A19	V19	V20	Gj. snitt	SD
Dato	07/08	01/10	28/08	26/08	30/08	22.9
Uke	32	40	35	35	36	2.9
Dager såing-modning	90	153	125	125	123.3	25.8
Varmesum såing-modning (d°)	1638	1992	1818	1764	1803	146.9
Varmesum beg. bl.-modning (d°)	1054	1353	1163	1158	1182	124.6
FW/frø, gj. snitt (mg)	911.6	1377.6	1162.9	918.4	1092.6	223.1
DW/frø gj. snitt (mg)	529.8	730.5	624.2	521.3	601.4	97.9
RWC, gj. snitt (%)	42.0	46.4	46.1	43.0	44.4	2.2

På Apelsvoll gikk planteutviklingen mye tregere i 2019 enn i 2018, og både frøutvikling og modning skjedde på et senere tidspunkt der temperaturen var betydelig lavere (ca. 10 grader og lavere). Samtidig var det en del nedbør i denne perioden. I 2019 nådde varmesum fra såing til uttak omtrent samme verdi som i 2018 over to uker senere, og varmesum fra begynnende blomstring til uttak tre-fire uker senere (Tabell 4.2.1 og 4.2.2). Siden temperatur er hovedfaktoren som kontrollerer hastigheten på planteutviklingen (Iannucci et al., 2008), er det ikke overraskende at utviklingen gikk såpass mye tregere i 2019 enn i 2018.

Varmesummer fra såing til begynnende blomstring for de ulike feltene varierte kun med $71^{\circ}d$ (tilsvarende 4.7 dager med $15^{\circ}d$) (Tabell 4.1.4). Siden det allikevel var stor variasjon i modningsforløpet og avlingene, gir det en indikasjon på at denne faktoren ikke spiller så stor rolle for modning og avling. Blomstringsfasen begynte tidligst (Tabell 4.1.3) og etter laveste varmesum på felt A18 (Tabell 4.1.3). Det skjedde antakeligvis fordi det var såpass tørt og planten dermed ble stresset til å starte den generative fasen tidligere for å sikre reproduksjonen. Blomstringsfasen på felt V19 varte kortest (Tabell 4.1.3) og hadde lavest varmesum (Tabell 4.1.4). Allikevel ble avlingen på V19 svært høy og signifikant høyere enn på de andre feltene (Tabell 4.3.2). Dette indikerer at varmesum og lengde på blomstringsfasen ikke er avgjørende for avlingen.

Apelsvoll og Vollebekk hadde omtrentlig samme temperaturvariasjon i 2019, bare at det var varmere på Vollebekk (Figur 4.2.3 og 4.2.5). Felt V19 ble sådd litt tidligere, og modningsperioden skjedde noe tidligere og ved høyere temperatur ($10-15^{\circ}C$) enn på felt A19. Nedtørking av frøene skjedde tidligere og raskere på felt V19, antakelig fordi det var en god del mildere på Vollebekk (Tabell 4.1.1), og frøene nådde en lavere RWC (Figur 4.2.6). Felt V19 fikk over dobbelt så stor avling som felt A19 (Tabell 4.3.2). Den store temperaturforskjellen kan være en del av forklaringen på hvorfor det var så stor avlingsforskjell mellom feltene. I tillegg hadde felt A19 den laveste totale innstrålingen av alle felter (Tabell 4.1.1). Dette kan ha ført til høyere blomsterabortering og vært med å bidra til at dette feltet fikk den nest laveste avlingen på 406.5 kg/daa.

Feltene på Vollebekk, V19 og V20, viser omtrentlig samme kurveforløp for FW, DW og RWC, men med en faseforskyvning på en uke på felt V20 selv om feltene ble sådd omtrent likt, i slutten av april (Figur 4.2.6 og 4.2.8). Felt V20 fikk lavere DW/frø og 343 kg/daa lavere avling enn V19. Fra såing til høsting var det på Vollebekk i 2020 totalt sett dårligere værforhold enn i 2019, med lavere døgnmiddeltemperatur, varmesum, nedbørsmengde og luftfuktighet (Tabell 4.1.1). Dette kan være noe av årsaken til at avlingen ble betydelig lavere i 2020 enn i

2019. Ifølge O'Sullivan og Angra (2016) er åkerbønne spesielt sensitiv for varme- og tørkestress under blomstringsfasen. De to første ukene av blomstringsfasen i 2020 var temperaturen høy, og maksimumstemperaturen gikk over 30°C. Plantene kan derfor ha lidd av varmestress. Imidlertid kom det mye nedbør andre uka av blomstringsfasen, som kan ha gjort at plantene tålte varmen bedre. I tillegg var værforholdene i blomstringsfasen totalt sett bedre i 2020 enn i 2019, med høyere varmesum, døgnmiddeltemperatur og nedbørsmengde + vanning og luftfuktighet, og den varte lenger. Ifølge Clifford et al. (1990) er en kort periode på én til tre uker etter blomstring den viktigste tiden for avlingsdannelse i åkerbønne, da over 70% av alle belgene blir satt i løpet av denne tiden. Værforholdene på denne tiden kan dermed være svært avgjørende for avlingspotensialet. Uke 29-31, de tre ukene etter blomstringsfasen, var det betydelig mer nedbør i 2020, på 97.3 mm versus 41.6 mm i 2019. Gjennomsnittstemperaturen var imidlertid høyere i 2019, på 18.3°C versus 15.2°C i 2020, som kan ha vært positivt for avlingen. Med disse motstridende resultatene er det noe usikkert hvorfor avlingen i 2019 ble så mye høyere enn i 2020. Andre faktorer som ikke er tatt med i denne studien, som jordforhold og andre værparametere, kan ha spilt en avgjørende rolle på avlingen.

4.4. Oppsummerende diskusjon

Modningstidspunkt og evnen til å modne under norske forhold har betydning for dyrkingspotensialet for åkerbønne i Norge. Det er foreløpig lite forskning på dette i Norge. Formålet med denne oppgaven var å studere hvordan modningsforløpet til åkerbønne under norske forhold og ved ulike dyrkingstekniske faktorer påvirket frøutvikling og dermed tidspunkt for modning. Sorten 'Vertigo' ble brukt, som har vært en av de mest populære sortene for dyrking i Norge de siste årene. Det er ikke den tidligste sorten, men den har vist større avlingspotensial enn mange av de andre sortene. Feltforsøkene holdt sted på Ås og Apelsvoll, som representerer regioner nord og sør innen Sør-Øst-Norge med variasjon i dyrkingssesongens lengde og noe variasjon i temperaturklime.

Kald jord ved spiring og frøplanteutvikling kan hemme opptaket av næringsstoffer og muligens utsette noduleringen. Startgjødsling ble undersøkt i denne forsøksserien for å dokumentere om dette kan gi raskere planteutvikling fra våren av, og dermed økt avling og muligens også tidligere modning. Dette ga ikke utslag på hverken avling eller frøutviklingen og modningsforløpet i disse forsøkene. Det kan antas at jorda der forsøkene ble anlagt (morenejord på Apelsvoll og siltig leire på Ås) var i god hevd, og hadde høyt innhold av alle næringsstoffer utenom nitrogen fra før av. Dersom jorda hadde vært næringsfattig, ville sannsynligvis startgjødsling hatt større effekt.

Frøinokulering med Rhizobiumbakterier hadde heller ingen signifikant effekt på avlingen, frøutviklingen eller modningsforløpet til åkerbønne. Normalt er det tilstrekkelig mengder av Rhizobium-bakterier som går på åkerbønne i dyrkajord i Norge, slik at frøinokulering ikke er nødvendig (Serikstad et al., 2013). Dette gjaldt antakeligvis for disse forsøksfeltene også, som gjorde at smitting ikke hadde målbar effekt. Dersom biologisk nitrogenfiksering ikke hadde funnet sted, ville sannsynligvis avlingene blitt lavere. Frøinokulering ville antakelig hatt større effekt på jord uten naturlig forekommende Rhizobium-bakterier.

Værforhold hadde signifikant effekt på frøutviklingen og modningsforløpet til åkerbønne. I forsøk under varierende klimaforhold i Sør-Øst-Norge var det stor variasjon i ulike varmesumkrav for sorten 'Vertigo': 599-670°d fra såing til begynnende blomstring (71°d forskjell); 1054-1353°d fra begynnende blomstring til fysiologisk modning (299°d forskjell) og 1638-1992°d fra såing til fysiologisk modning (354°d forskjell). Felt A19 modnet spesielt sent på grunn av kjølig og fuktig vær i modningsfasen. Hvis en ser bort ifra dette feltet, varierte varmesum fra begynnende blomstring til modning med kun 109°d (tilsvarende ca. 1 uke med 15°C). Dette antyder at modningsforløpet i åkerbønne kun delvis kan beskrives i forhold til varmesum fra begynnende blomstring til modning (\pm noen dager) gitt at det ikke er for kaldt og vått i modningsfasen.

Stabbetorp et al. (2021) beregnet normalverdiene for varmesum fra mai til september fra 1991 til 2020 på noen steder: Apelsvoll, 1978°d; Ås, 2073°d; Landvik, 2156°d; Særheim, 1956°d; Kvithamar, 1914°d. Det høyeste varmesumkravet for 'Vertigo' for å nå fysiologisk modning fra denne forsøksserien var 1992°d. Basert på dette kan det antas at det er risikabelt å dyrke 'Vertigo' på Apelsvoll, Særheim og Kvithamar, og den blir bare moden der i sesonger som er mildere enn normalt. På Ås og i Landvik vil en normal vekstsesong oppfylle varmesumkravet til 'Vertigo' fra såing til fysiologisk modning. For at feltet skal bli høsteklart, bør imidlertid vanninnholdet synke til ytterligere 18-20% slik at frøene ikke er for store for treskemaskinen, og dette vil ikke skje dersom det er for kaldt og vått i modningsfasen slik som på Apelsvoll i 2019.

Frøenes vanninnhold er vanligvis beskrivende for modningsstadiet hos frøvekster. Normalt vil vanninnholdet synke gradvis i frøutviklingsperioden samtidig som lagringsstoff som stivelse og protein akkumuleres. Fysiologisk modning defineres normalt som stadiet der stofftransporten inne i frøet stopper opp. Etter dette stadiet skjer det fortsatt fysisk uttørking som er avhengig av værforholdene. Det er av interesse å vite ved hvilket vanninnhold de ulike frøvekstene når sin fysiologiske modning, men for åkerbønne er dette lite kommunisert i den vitenskapelige litteraturen. Data fra denne studien kan belyse dette. Kriterier for når stofftransporten inn i frøene stopper opp og frøene er fysiologisk modne er når DW slutter å øke og RWC går opp og ned avhengig av værforhold. Dersom tørkeforholdene er gode, blir det vanligvis en brattere nedgang i RWC etter at fysiologisk modning er passert. Data fra disse forsøkene kan tyde på at fysiologisk modning skjer når frøenes RWC er på mellom 42-46%. Etter dette stadiet vil frøenes RWC være avhengig av de ytre forholdene for tørking, som temperatur, nedbør og vind. Resultatene viste at den videre uttørkingen kan gå rask som i felt A18, eller svært langsomt under kjølige og fuktige forhold som i felt A19, og at episoder med kraftig nedbør i dette stadiet fører til at frøenes RWC øker.

Til tross for svært varierende dyrkingsforhold som ga store avlingsforskjeller, viste resultatene overraskende like resultater med hensyn på antall frø per belg og frøenes størrelse (DW). Dette gir en indikasjon på at det er antall belger som blir beholdt per plante, eller per arealenhet som er mest avgjørende for avlingen og ikke frøvekt eller antall frø per belg. Det er interessant å merke seg at for A18, som hadde svært lav avling forårsaket av tørke og høye temperaturer denne sesongen, så viste belgene fra nederste nodium som ble høstet i uttakene svært normal utvikling og normal frøvekt.

Det ble ikke funnet noen sammenheng mellom hvilket nodium første belg ble dannet fra, og behandling, værforhold eller modningsforløpet. Antall belger og nodier per plante ble ikke registrert i disse forsøkene. Hva som påvirker abortering av belger og hvordan værforhold spiller inn bør det forskes videre på. Hva som styrer hvilke nodium første belg kommer på må også undersøkes nærmere.

5. Konklusjon

Målet med denne oppgaven var å undersøke frøutviklingen og modningsforløpet i åkerbønne under norske dyrkingsforhold, hvor effekten av værforhold, startgjødsling og frøinokulering med *Rhizobium*-bakterier ble undersøkt. Det var stor variasjon i modningstid og avling mellom sesonger og steder. Resultatene viste at: 1) startgjødsling ikke har signifikant effekt på frøutviklingen og modningsforløpet til åkerbønne; 2) frøinokulering med *Rhizobium*-bakterier ikke har signifikant effekt på frøutviklingen og modningsforløpet til åkerbønne; 3) værforhold har signifikant effekt på frøutviklingen og modningsforløpet til åkerbønne, hvor: a) modningsforløpet delvis kan beskrives i forhold til varmesum fra begynnende blomstring til fysiologisk modning, dersom det ikke er for kaldt og vått i modningsfasen; b) høyere temperatur gir raskere modning og raskere nedgang i vann; og c) mot modningsfasen når stofftransporten i frøene stopper opp, vil frøenes vanninnhold (RWC) være avhengig av værforholdene. Dersom tørkeforholdene er gode, kan RWC synke raskt i perioden etter at fysiologisk modning er passert, og frøene blir raskt høsteklare. Ved kjølige og fuktige forhold i perioden etter fysiologisk modning kan RWC gå opp igjen. Nedbørmengden etter fysiologisk modning vil altså i stor grad påvirke når frøene kan høstes. Resultatene antyder at fysiologisk modning i åkerbønne inntreffer ved 42-46% RWC. Antall belger som utvikles er mer avgjørende for avlingen enn antall frø per belg og frøenes størrelse. Det ble ikke funnet noen sammenheng mellom hvilket nodium første belg ble dannet fra, og behandling, værforhold eller modningsforløpet. Sorten 'Vertigo' trengte i disse forsøkene en varmesum på i snitt 1803°d fra såing til fysiologisk modning, men det var stor variasjon på feltene fra 1638°d for felt A18 (tørkeåret) til 1992°d for felt A19 (kjølig i modningsfasen). Dataene kan være til hjelp for å vurdere det aktuelle dyrkingsområdet for 'Vertigo' i Norge.

6. Litteraturliste

- Abrahamsen, U., Waalen, W. & Uhlen, A. K. (2018). *Sortsforsøk i erter og åkerbønne*. I: Strand, E. (red.). NIBIO BOK 4: Jord- og Plantekultur 2018. Forsøk i korn, olje- og proteinvekster, engfrøavl og potet 2017, 8217020175. NIBIO.
- Abrahamsen, U., Uhlen, A. K., Waalen, W. & Stabbetorp, H. (2019). *Muligheter for økt proteinproduksjon på kornarealene*. I: Strand, E. (red.). NIBIO BOK 5: Jord- og Plantekultur 2019. Forsøk i korn, olje- og proteinvekster, engfrøavl og potet 2018. NIBIO.
- Abrahamsen, U. & Waalen, W. M. (2020). *Sortsforsøk i åkerbønne*. I: Strand, E. (red.). NIBIO BOK 6: Jord- og Plantekultur 2020. Forsøk i korn, olje- og belgvekster, engfrøavl og potet 2019., 8217024812. NIBIO.
- Adisarwanto, T. & Knight, R. (1997). Effect of sowing date and plant density on yield and yield components in the faba bean. *Australian Journal of Agricultural Research*, 48 (8): 1161-1168.
- Alharbi, N. H. & Adhikari, K. N. (2020). Factors of yield determination in faba bean (*Vicia faba*). *Crop and Pasture Science*, 71 (4): 305-321.
- Boote, K. J., Mínguez, M. I. & Sau, F. (2002). Adapting the CROPGRO legume model to simulate growth of faba bean. *Agronomy Journal*, 94 (4): 743-756.
- Borisjuk, L., Weber, H., Panitz, R., Manteuffel, R. & Wobus, U. (1995). Embryogenesis of *Vicia faba* L.: histodifferentiation in relation to starch and storage protein synthesis. *Journal of Plant Physiology*, 147 (2): 203-218.
- Borisjuk, L., Walenta, S., Weber, H., Mueller-Klieser, W. & Wobus, U. (1998). High-resolution histographical mapping of glucose concentrations in developing cotyledons of *Vicia faba* in relation to mitotic activity and storage processes: glucose as a possible developmental trigger. *The Plant Journal*, 15 (4): 583-591.
- Borisjuk, L., Walenta, S., Rolletschek, H., Mueller-Klieser, W., Wobus, U. & Weber, H. (2002). Spatial analysis of plant metabolism: sucrose imaging within *Vicia faba* cotyledons reveals specific developmental patterns. *The Plant Journal*, 29 (4): 521-530.
- Bugge, A. & Alfnes, F. (2018). *Kjøttfrie spisevaner – hva tenker forbrukerne?*: Oslo: Forbruksforskingsinstituttet SIFO.
- Cernay, C., Ben-Ari, T., Pelzer, E., Meynard, J.-M. & Makowski, D. (2015). Estimating variability in grain legume yields across Europe and the Americas. *Scientific reports*, 5 (1): 1-11.
- Chung, K.-T., Wong, T. Y., Wei, C.-I., Huang, Y.-W. & Lin, Y. (1998). Tannins and human health: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 38 (6): 421-464.
- Clifford, P., Pentland, B. & Baylis, A. (1990). Reproductive abscission patterns in faba bean (*Vicia faba* L. cv. Troy). *FABIS Newsletter*, 27: 5-9.
- Crépon, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouee, B., Arese, P. & Duc, G. (2010). Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research*, 115 (3): 329-339.
- Dantuma, G. & Thompson, R. (1983). Whole crop physiology and yield components. *The faba bean*: 143-158.
- De Pace, C., Delre, V., Mugnozza, G. S., Maggini, F., Cremonini, R., Frediani, M. & Cionini, P. (1991). Legumin of *Vicia faba* major: accumulation in developing cotyledons, purification, mRNA characterization and chromosomal location of coding genes. *Theoretical and Applied Genetics*, 83 (1): 17-23.

- Duc, G., Marget, P., Esnault, R., Le Guen, J. & Bastianelli, D. (1999). Genetic variability for feeding value of faba bean seeds (*Vicia faba*): Comparative chemical composition of isogenics involving zero-tannin and zero-vicine genes. *The Journal of Agricultural Science*, 133 (2): 185-196.
- Duc, G., Aleksić, J. M., Marget, P., Mikic, A., Paull, J., Redden, R. J., Sass, O., Stoddard, F. L., Vandenberg, A. & Vishnyakova, M. (2015). Faba bean. *Grain legumes*: 141-178.
- Duthion, C. & Pigeaire, A. (1991). Seed lengths corresponding to the final stage in seed abortion of three grain legumes. *Crop Science*, 31 (6): 1579-1583.
- Ellis, R., Roberts, E. & Summerfield, R. (1988). Photothermal time for flowering in faba bean (*Vicia faba*) and the analysis of potential vernalization responses. *Annals of Botany*, 61 (1): 73-82.
- FAOSTAT. (2019). I: *Food and Agricultural Organization of the United Nations* (FAOSTAT). Tilgjengelig fra: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (lest 3. februar 2021).
- Fasheun, A. & Dennett, M. (1982). Interception of radiation and growth efficiency in field beans (*Vicia faba* L.). *Agricultural Meteorology*, 26 (3): 221-229.
- Filippetti, A. & Ricciardi, L. (1993). Faba bean: *Vicia faba* L. I: *Genetic Improvement of Vegetable Crops*, s. 355-385: Elsevier.
- Fukuta, N., Fukuzono, K., Kawaide, H., Abe, H. & Nakayama, M. (2006). Physical restriction of pods causes seed size reduction of a brassinosteroid-deficient faba bean (*Vicia faba*). *Annals of botany*, 97 (1): 65-69.
- GRDC. (2017). *Faba bean: Plant growth and physiology*. GRDC Grownotes. Grains Research & Development Corporation: Australian Government. Tilgjengelig fra: <https://grdc.com.au/resources-and-publications/grownotes/crop-agronomy/faba-beans-western> (lest 21. mars).
- Grenz, J., Manschadi, A., Uygur, F. & Sauerborn, J. (2005). Effects of environment and sowing date on the competition between faba bean (*Vicia faba*) and the parasitic weed *Orobanche crenata*. *Field Crops Research*, 93 (2-3): 300-313.
- Grieu, C., Abrahamsen, U. & Waalen, W. (2021). *Sortsforsøk i åkerbønne*. NIBIO BOK 7: Jord- og Plantekultur 2021. Forsøk i korn, olje- og belgvekster, engfrøavl og potet 2020.
- Hansen, M. G. (2017). *Sådybde og utsædsmengder i hestebønner*. www.landbrugsinfo.dk (lest 10. februar).
- Harrington, G., Nussbaumer, Y., Wang, X.-D., Tegeder, M., Franceschi, V., Frommer, W., Patrick, J. & Offler, C. (1997). Spatial and temporal expression of sucrose transport-related genes in developing cotyledons of *Vicia faba* L. *Protoplasma*, 200 (1-2): 35-50.
- Hawthorne, W. (2007). A summary of pulse management options to minimize frost damage. *Pulse Australia Bulletin*, 2: 1-4.
- Heim, U., Wang, Q., Kurz, T., Borisjuk, L., Golombek, S., Neubohn, B., Adler, K., Gahrtz, M., Sauer, N. & Weber, H. (2001). Expression patterns and subcellular localization of a 52 kDa sucrose-binding protein homologue of *Vicia faba* (VfSBPL) suggest different functions during development. *Plant Molecular Biology*, 47 (4): 461-474.
- Hill-Cottingham, D. (1983). *Chemical Constituents and Biochemistry. The faba bean*. (pp. 159-180). *PD Hebblethwaite*: Butterworths, London.
- Hinn, L. J. (2017). Erter og åkerbønner er god agronomi. Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/nyheter/arter-og-kerbønner-er-god-agronomi> (lest 02.03.21).
- Huyghe, C. (1998). Genetics and genetic modifications of plant architecture in grain legumes: a review. *Agronomie*, 18 (5-6): 383-411.

- Iannucci, A., Terribile, M. & Martiniello, P. (2008). Effects of temperature and photoperiod on flowering time of forage legumes in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 106 (2): 156-162.
- Ivarsson, E. & Neil, M. (2018). Variations in nutritional and antinutritional contents among faba bean cultivars and effects on growth performance of weaner pigs. *Livestock Science*, 212: 14-21.
- Johansen, A. & Hjelkrem, A.-G. R. (2018). Livsløpsanalyser av norsk svinekjøttproduksjon med og utan heimeprodusert grassaft som fôr. *NIBIO Rapport*.
- Khazaei, H. & Vandenberg, A. (2020). Seed Mineral Composition and Protein Content of Faba Beans (*Vicia faba* L.) with Contrasting Tannin Contents. *Agronomy*, 10 (4): 511-521.
- Korsæth, A. & Roer, A.-G. (2016). Livsløpsanalyse (LCA) av dyrking av erter og åkerbønner i Norge. *NIBIO Rapport*.
- Lavania, D., Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Singh, A. K., Kumar, R. & Grover, A. (2015). Genetic approaches for breeding heat stress tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 37 (1): 1-9.
- Lidon, F., Ribeiro, G., Santana, H., Marques, H., Correia, K. & Gouveia, S. (2001). Photoinhibition in chilling stressed Leguminosae: comparison of *Vicia faba* and *Pisum sativum*. *Photosynthetica*, 39 (1): 17-22.
- López-Bellido, F., López-Bellido, L. & López-Bellido, R. (2005). Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*, 23 (4): 359-378.
- Matthews, P. & Marcellos, H. (2003). Faba bean. Agfact P4. 2.7, 2003, Division of Plant Industries. *New South Wales Agriculture, Australia*, 1: 12.
- McDonald, G., Adisarwanto, T. & Knight, R. (1994). Effect of time of sowing on flowering in faba bean (*Vicia faba*). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34 (3): 395-400.
- Mossberg, B., Karlsson, T., Moen, S., Båtvik, S., Mossberg, B. & Stenberg, L. (2007). *Gyldendals store nordiske flora*. Rev. og utvidet utg. utg. Den nya nordiska floran. Oslo: Gyldendal.
- Murray, D. R. (1988). *Nutrition of the angiosperm embryo*: Research Studies Press Ltd.
- NIBIO. (2021). LandbruksMeteorologisk Tjeneste. I: *Norsk Institutt for Bioøkonomi (NIBIO)*. Tilgjengelig fra: <https://lmt.nibio.no/> (lest 15.01.21).
- O'Sullivan, D. M. & Angra, D. (2016). Advances in faba bean genetics and genomics. *Frontiers in genetics*, 7: 150.
- Offler, C., Nerlich, S. & Patrick, J. (1989). Pathway of photosynthate transfer in the developing seed of *Vicia faba* L. Transfer in relation to seed anatomy. *Journal of Experimental Botany*, 40 (7): 769-780.
- Øverland, J. I. (2008). *Årsrapport 2007*: NLR.
- Øverland, J. I. (2020). *Dyrkingsveiledning for åkerbønner*: NLR Viken.
- Patrick, J. (1994). Turgor-dependent unloading of photosynthates from coats of developing seed of *Phaseolus vulgaris* and *Vicia faba*. Turgor homeostasis and set points. *Physiologia Plantarum*, 90 (2): 367-377.
- Patrick, J. & Stoddard, F. (2010). Physiology of flowering and grain filling in faba bean. *Field Crops Research*, 115 (3): 234-242.
- Patrick, J. W. & Offler, C. E. (2001). Compartmentation of transport and transfer events in developing seeds. *Journal of experimental botany*, 52 (356): 551-564.

- Paul, C., Gates, P., Harris, N. & Boulter, D. (1978). Asynchronous sexual development determines the breeding system in field beans. *Nature*, 275 (5675): 54-55.
- Sabate, J. & Soret, S. (2014). Sustainability of plant-based diets: back to the future. *The American journal of clinical nutrition*, 100 (suppl_1): 476S-482S.
- Samarah, N. H. (2016). Understanding how plants respond to drought stress at the molecular and whole plant levels. I: *Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 2*, s. 1-37: Springer.
- Saxena, M., Saxena, N. & Mohamed, A. (1988). High temperature stress. I: *World crops: Cool season food legumes*, s. 845-856: Springer.
- Schoonhoven, L. M., Van Loon, B., van Loon, J. J. & Dicke, M. (2005). *Insect-plant biology*: Oxford University Press on Demand.
- Sekara, A., Poniedzialek, M., Ciura, J. & Jedrszczyk, E. (2001). The effect of meteorological factors upon flowering and pod setting of faba bean [*Vicia faba* L.] at different sowing times. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 1 (54).
- Serikstad, G. L., Hansen, S. & de Boer, A. (2013). Biologisk nitrogenbinding-belgvekster som kilde til nitrogen. *Bioforsk Fokus*.
- Siczek, A. & Lipiec, J. (2011). Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. *Soil and Tillage Research*, 114 (1): 50-56.
- Singh, A., Bhatt, B., Sundaram, P., Gupta, A. & Singh, D. (2013). Planting geometry to optimize growth and productivity in faba bean (*Vicia faba* L.) and soil fertility. *Journal of Environmental Biology*, 34 (1): 117.
- Soetan, K. O. & Oyewole, O. (2009). The need for adequate processing to reduce the anti-nutritional factors in plants used as human foods and animal feeds: A review. *African Journal of food science*, 3 (9): 223-232.
- Solaiman, Z., Colmer, T., Loss, S., Thomson, B. & Siddique, K. (2007). Growth responses of cool-season grain legumes to transient waterlogging. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58 (5): 406-412.
- Soper, M. (1952). A study of the principal factors affecting the establishment and development of the field bean (*Vicia faba*). *The Journal of Agricultural Science*, 42 (4): 335-346.
- Stabbetorp, H., Olsen, A. K. B. & Møllerhagen, P. (2019). Vær og vekst 2018. *Jord-og Plantekultur 2019. Forsøk i korn, olje-og proteinvekster, engfrøavl og potet 2018*.
- Stabbetorp, H., Olsen, A. K. B. & Møllerhagen, P. (2020). Vær og vekst 2019. *Jord-og Plantekultur 2020. Forsøk i korn, olje-og proteinvekster, engfrøavl og potet 2019*, 6.
- Stabbetorp, H., Olsen, A. K. B. & Møllerhagen, P. (2021). Vær og vekst 2020. *Jord-og Plantekultur 2021. Forsøk i korn, olje-og proteinvekster, engfrøavl og potet 2020*, 7.
- Stoddard, F. (1993). Limits to retention of fertilized flowers in faba beans (*Vicia faba* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 171 (4): 251-259.
- Stoddard, F., Nicholas, A. H., Rubiales, D., Thomas, J. & Villegas-Fernández, A. (2010). Integrated pest management in faba bean. *Field crops research*, 115 (3): 308-318.
- Stoddard, F., Mäkelä, P. & Puhakainen, T. A. (2011). Adaptation of boreal field crop production to climate change. *Climate change—research and technology for adaptation and mitigation*. (Eds J Blanco, H Kheradmand) pp: 403-430.
- Sunding, P. (2020). *Hestebønne*. Store Norske Leksikon: Store Norske Leksikon.
- Sunding, P. V., Unni. (2019). Erteblomstfamilien. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/erteblomstfamilien>.

- Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T. & Jarso, M. (2015). Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The crop journal*, 3 (3): 258-268.
- Thakur, P., Kumar, S., Malik, J. A., Berger, J. D. & Nayyar, H. (2010). Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 67 (3): 429-443.
- Toker, C. (2004). Estimates of broad-sense heritability for seed yield and yield criteria in faba bean (*Vicia faba* L.). *Hereditas*, 140 (3): 222-225.
- Vankosky, M., Dodsall, L. & Cárcamo, H. (2009). Distribution, biology and integrated management of the pea leaf weevil, *Sitona lineatus* L. (Coleoptera: Curculionidae), with an analysis of research needs. *CAB reviews: perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources*, 4 (007): 1-18.
- Vocanson, A., Roger-Estrade, J., Boizard, H. & Jeuffroy, M.-H. (2006). Effects of soil structure on pea (*Pisum sativum* L.) root development according to sowing date and cultivar. *Plant and soil*, 281 (1): 121-135.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and experimental botany*, 61 (3): 199-223.
- Wardini, T., Talbot, M., Offler, C. & Patrick, J. (2007). Role of sugars in regulating transfer cell development in cotyledons of developing *Vicia faba* seeds. *Protoplasma*, 230 (1): 75-88.
- Weber, E. & Bleiholder, H. (1990). Explanations of the BBCH decimal codes for the growth stages of maize, rape, faba beans, sunflowers and peas-with illustrations. *Gesunde Pflanzen*, 42 (9): 308-321.
- Weber, H., Borisjuk, L., Heim, U., Buchner, P. & Wobus, U. (1995). Seed coat-associated invertases of fava bean control both unloading and storage functions: cloning of cDNAs and cell type-specific expression. *The Plant Cell*, 7 (11): 1835-1846.
- Weber, H., Borisjuk, L. & Wobus, U. (1996). Controlling seed development and seed size in *Vicia faba*: a role for seed coat-associated invertases and carbohydrate state. *The Plant Journal*, 10 (5): 823-834.
- Weber, H., Borisjuk, L., Heim, U., Sauer, N. & Wobus, U. (1997). A role for sugar transporters during seed development: molecular characterization of a hexose and a sucrose carrier in fava bean seeds. *The Plant Cell*, 9 (6): 895-908.
- Weber, H., Borisjuk, L. & Wobus, U. (2005). Molecular physiology of legume seed development. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 56: 253-279.
- Wolswinkel, P. (1992). Transport of nutrients into developing seeds: a review of physiological mechanisms. *Seed Science Research*, 2 (2): 59-73.
- Zhang, W.-H., Zhou, Y., Dibley, K. E., Tyerman, S. D., Furbank, R. T. & Patrick, J. W. (2007). Nutrient loading of developing seeds. *Functional Plant Biology*, 34 (4): 314-331.
- Zhang, X., Johnson, S. N., Gregory, P. J., Crawford, J. W., Young, I. M., Murray, P. J. & Jarvis, S. C. (2006). Modelling the movement and survival of the root-feeding clover weevil, *Sitona lepidus*, in the root-zone of white clover. *Ecological modelling*, 190 (1-2): 133-146.
- Zohary, D. & Hopf, M. (2000). *Domestication of plants in the Old World: The origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe and the Nile Valley*: Oxford University Press.
- Zong, X., Cheng, X. & Wang, S. (2006). Food legume crops. *Crops and its relative species in China—Grain crops*. Beijing: China Agriculture: 406-479.

Vedlegg

Vedlegg 1. Behandling, alle felter

Middeltall for behandling for alle felter vises i tabell V1.

Tabell V1: Gjennomsnittlig FW, DW og RWC for alle behandlinger på hvert felt og gjennomsnitt for alle felter. Verdier som viser statistisk signifikans mellom behandling og variabel eller samspillet mellom behandling*uttak og variabel vises i rødt.

		B1	B2	B3	B4
A18	FW/frø		749.55	786.10	745.89
	DW/frø		339.61	363.17	324.39
	RWC		57.54	57.40	59.24
A19	FW/frø		1159.46	1176.72	1390.39
	DW/frø		492.10	503.38	635.08
	RWC		60.50	59.95	55.12
V19	FW/frø		1033.98	1034.27	1065.79
	DW/frø		432.66	447.59	436.42
	RWC		60.15	57.62	60.91
V20	FW/frø	864.61	874.21	853.66	927.59
	DW/frø	331.45	322.23	327.60	405.01
	RWC	62.39	62.82	62.07	52.77
Gj. snitt	FW/frø		954.30	962.69	1032.41
	DW/frø		396.65	410.43	450.23
	RWC		60.25	59.26	57.01

Vedlegg 2. Apelsvoll 2018

Gjennomsnittlig FW, DW og RWC for hvert uttak for felt A18 vises i tabell V2.1.

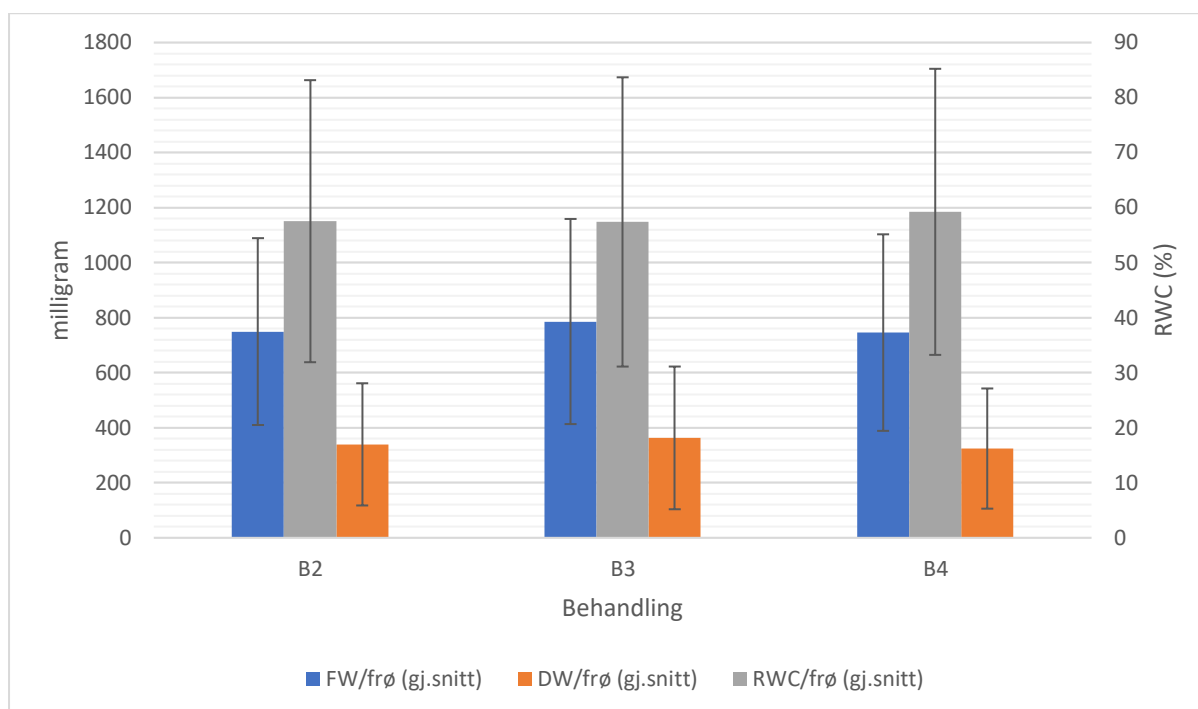
Tabell V2.1. Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hvert uttak med standardavvik (SD) og totale gjennomsnitt for alle uttak for felt A18.

Uttak Uke	FW/frø (mg)		DW/frø (mg)		RWC (%)	
	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD
28	165.53	47.47	30.52	10.91	81.82	2.19
29	599.32	104.48	107.10	18.74	81.91	2.69
30	1057.89	96.63	328.05	39.18	69.05	1.27
31	1116.31	224.04	430.69	124.91	61.78	4.82
32	911.62	148.55	529.76	101.84	42.01	4.14
33	712.42	58.69	628.21	48.65	11.78	1.08
Gj. snitt	760.51	346.91	342.39	227.80	58.06	25.23

Gjennomsnittlig FW, DW og RWC for hver behandling for felt A18 vises i tabell V2.2 og figur V2.1.

Tabell V2.2. Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hver behandling med standardavvik (SD) og totale gjennomsnitt for alle behandlinger for felt A18.

Behandling	FW/frø (mg)		DW/frø (mg)		RWC (%)	
	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD
B2	749.55	339.55	339.61	222.06	57.54	25.63
B3	786.10	372.77	363.17	259.34	57.40	26.28
B4	745.89	357.18	324.39	218.43	59.24	25.99
Gj. snitt	760.51	346.91	342.39	227.80	58.06	25.23



Figur V2.1. Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hver behandling for felt A18.

Vedlegg 3. Apelsvoll 2019

Gjennomsnittlig FW, DW og RWC for hvert uttak for felt A19 vises i tabell V3.1

Tabell V3.1. Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hvert uttak med standardavvik (SD) og totale gjennomsnitt for alle uttak for felt A19.

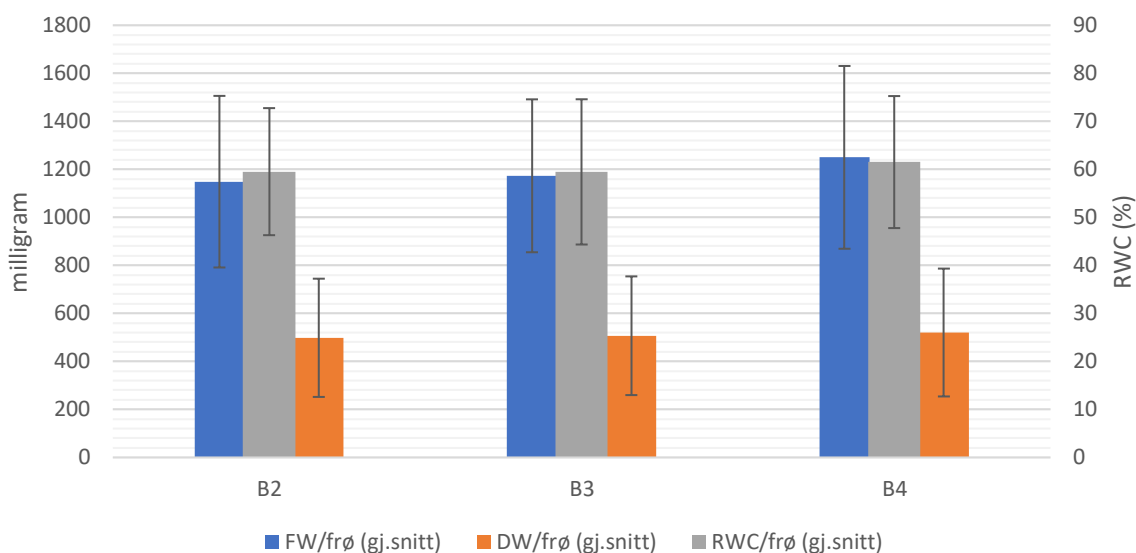
Uttak Uke	FW/frø (mg)		DW/frø (mg)		RWC (%)	
	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD
31	455.28	93.57	77.80	19.86	83.08	1.18
32	804.13	70.30	167.41	26.33	79.25	1.85
33	1000.66	97.57	256.30	75.70	73.85	9.53
34	1118.32	41.26	373.29	24.75	66.64	1.39
35	1219.78	201.33	495.53	77.45	59.30	2.28
36	1341.37	45.36	597.61	28.62	55.46	0.99
37	1699.15	113.57	756.83	29.98	55.38	1.52
38	1464.71	184.26	713.62	72.98	51.11	2.84
40	1377.64	234.78	730.46	79.28	46.41	5.14
42	1306.35	172.16	760.92	66.20	41.24	5.86
43	1399.65	87.04	707.41	39.04	49.41	1.95
Gj. snitt	1191.12	350.15	508.71	249.67	60.17	13.88

Gjennomsnittlig FW, DW og RWC for hver behandling for felt A19 vises i tabell V3.2 og figur V3.1.

Tabell V3.2 Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hver behandling med standardavvik (SD) og totale gjennomsnitt for alle behandlingene for felt A19.

FW/frø (mg)	DW/frø (mg)	RWC (%)
-------------	-------------	---------

Behandling	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD
B2	1148.54	357.35	498.35	246.23	59.52	13.23
B3	1173.08	318.40	506.96	247.15	59.47	15.12
B4	1249.82	380.64	520.35	266.26	61.51	13.74
Gj. snitt	1191.12	350.15	508.71	249.67	60.17	13.88



Figur V3.1. Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hver behandling for felt A19.

Vedlegg 4. Vollebekk 2019

Gjennomsnittlig FW, DW og RWC for hvert uttak for felt V19 vises i tabell V4.1

Tabell V4.1. Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hvert uttak med standardavvik (SD) og totale gjennomsnitt for alle uttak for felt V19.

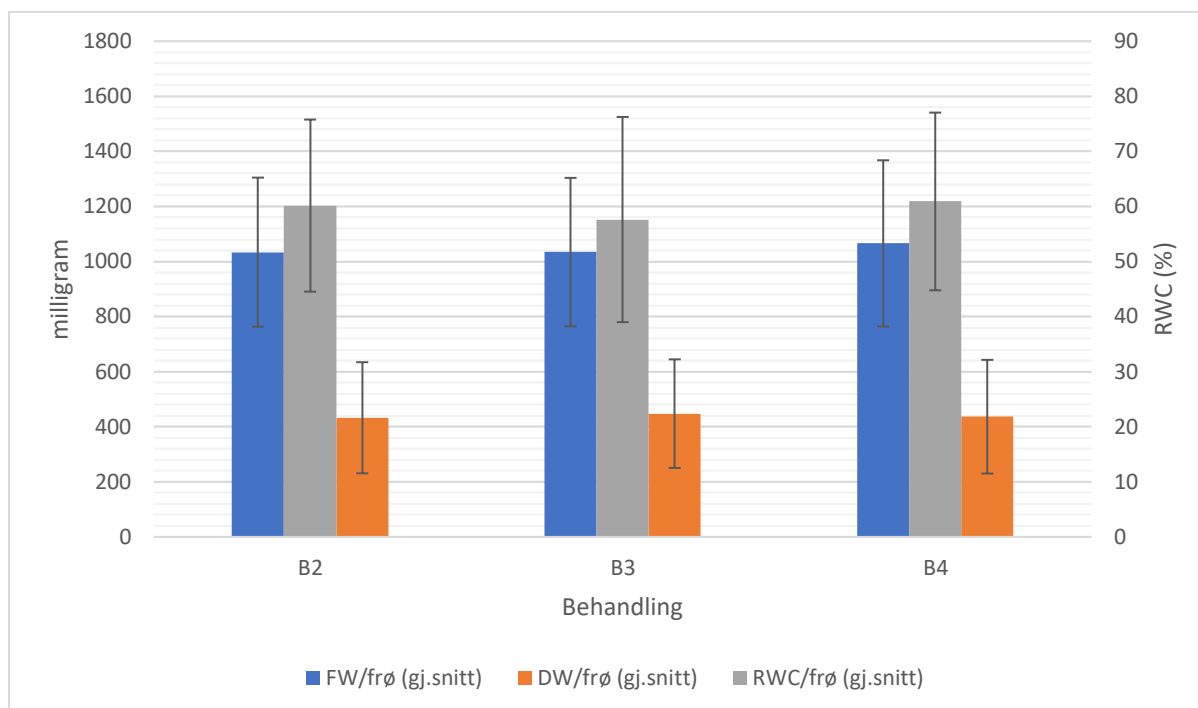
Uttak	FW/frø (mg)		DW/frø (mg)		RWC (%)	
	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD
30	510.24	130.84	88.17	26.11	82.87	0.75
31	957.86	132.37	236.47	36.75	75.34	1.26
32	1209.50	132.33	407.36	38.98	66.22	2.50
33	1262.71	61.90	518.04	25.62	58.95	1.48
34	1266.68	62.50	564.72	30.19	55.42	0.41
35	1162.88	106.34	624.28	36.63	46.05	4.56
36	942.89	130.88	633.18	24.57	32.07	6.89
Gj. snitt	1044.68	274.55	438.89	196.95	59.56	16.49

Gjennomsnittlig FW, DW og RWC for hver behandling for felt V19 vises i tabell V4.2 og figur V4.1.

Tabell V4.2. Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hver behandling med standardavvik (SD) og totale gjennomsnitt for alle behandlinger for felt V19.

Behandling	FW/frø (mg)		DW/frø (mg)		RWC (%)	
	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD
B2	1033.98	270.75	432.66	201.75	60.15	15.63
B3	1034.27	269.50	447.59	197.16	57.62	18.62

B4	1065.79	301.79	436.42	206.49	60.91	16.13
Gj. snitt	1044.68	274.55	438.89	196.95	59.56	16.49



Figur V4.1. Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hver behandling for felt V19.

Vedlegg 5. Vollebekk 2020

Gjennomsnittlig FW, DW og RWC for hvert uttak for felt V20 vises i tabell V5.1

Tabell V5.1. Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hvert uttak med standardavvik (SD) og totale gjennomsnitt for alle uttak for felt V20.

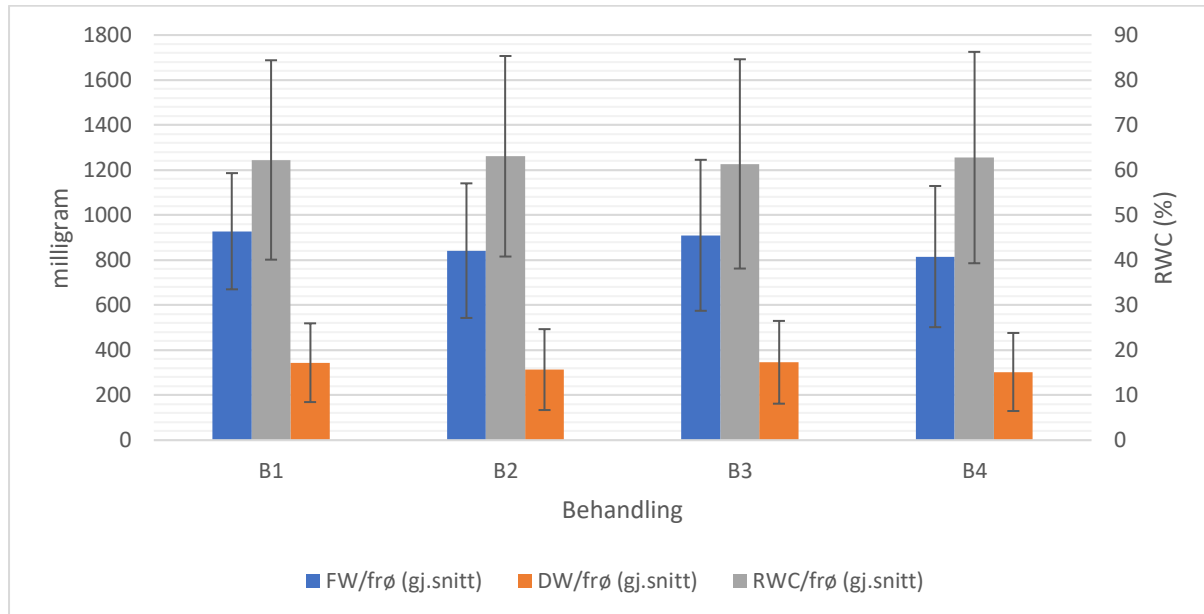
Uttak Uke	FW/frø (mg)		DW/frø (mg)		RWC (%)	
	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD
29	377.78	76.54	63.22	14.43	83.33	0.42
30	639.65	130.53	117.28	27.44	81.77	0.65
31	995.98	125.00	215.61	37.57	78.47	1.22
32	1124.04	90.76	290.61	40.78	74.24	2.08
33	1156.80	94.84	410.71	46.64	64.57	1.49
34	1186.34	95.49	490.27	41.40	58.68	1.07
35	918.35	97.52	521.27	46.12	43.01	3.90
36	593.67	63.76	504.16	43.64	14.88	3.94
Gj.snitt	874.08	299.26	326.64	174.77	62.37	22.25

Gjennomsnittlig FW, DW og RWC for hver behandling for felt V20 vises i tabell V5.2 og figur V5.1.

Tabell V5.2. Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hver behandling med standardavvik (SD) og totale gjennomsnitt for alle behandlingene for felt V20.

Behandling	FW/frø (mg)		DW/frø (mg)		RWC (%)	
	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD	Gj. snitt	SD
B1	928.34	258.12	344.14	174.91	62.25	22.15

B2	842.07	298.97	313.55	179.77	63.07	22.28
B3	910.21	335.38	345.96	183.89	61.37	23.24
B4	815.68	313.67	302.92	173.36	62.79	23.48
Gj. snitt	874.08	299.26	326.64	174.77	62.37	22.25



Figur V5.1. Gjennomsnittlig FW, DW og RWC per frø for hver behandling for felt V20.

Vedlegg 6. Variansanalyser for Apelsvoll 2018

Variansanalyser for felt A18 vises under.

A18

Mixed Effects Model: FW versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood

DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1, 2
Uttak	Fixed	6 28, 29, 30, 31, 32, 33
Behandling	Fixed	3 B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var % of Total	SE Var	Z-Value	P-Value	
Gjentak	797.535775	3.73%	2774.984598	0.287402	0.387
Error	2.06087E+04	96.27%	7068.719205	2.915476	0.002
Total	2.14062E+04				

-2 Log likelihood = 266.823375

Tests of Fixed Effects

Term	DF Num	DF Den	F-Value	P-Value
Uttak	5.00	17.00	36.11	0.000
Behandling	2.00	17.00	0.29	0.754
Uttak*Behandling	10.00	17.00	0.46	0.896

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
143.557	91.39%	83.27%	271.62	272.60

A18

Mixed Effects Model: DW versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood

DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1, 2
Uttak	Fixed	6 28, 29, 30, 31, 32, 33
Behandling	Fixed	3 B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var % of Total	SE Var	Z-Value	P-Value	
Gjentak	0.000000	0.00%	*	*	*
Error	5472.183091	100.00%	1824.061030	3.000000	0.001
Total	5472.183091				

-2 Log likelihood = 242.426133

Tests of Fixed Effects

Term	DF Num	DF Den	F-Value	P-Value
Uttak	5.00	18.00	60.84	0.000
Behandling	2.00	18.00	0.84	0.449
Uttak*Behandling	10.00	18.00	0.81	0.627

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
73.9742	94.58%	89.45%	247.23	248.21

A18

Mixed Effects Model: RWC versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood
 DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Gjentak	Random	2	1, 2
Uttak	Fixed	6	28, 29, 30, 31, 32, 33
Behandling	Fixed	3	B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var% of Total	SE Var	Z-Value	P-Value
Gjentak	0.000000	0.00%	*	*
Error	5.341714	100.00%	1.780571	3.000000
Total	5.341714			0.001

-2 Log likelihood = 117.652179

Tests of Fixed Effects

Term	DF Num	DF Den	F-Value	P-Value
Uttak	5.00	18.00	823.90	0.000
Behandling	2.00	18.00	2.35	0.124
Uttak*Behandling	10.00	18.00	2.89	0.024

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
2.31121	99.57%	99.16%	122.45	123.43

Vedlegg 7. Variansanalyser for Apelsvoll 2019

Variansanalyser for felt A19 vises under.

A19

Mixed Effects Model: FW versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood

DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1, 2
Uttak	Fixed	11 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 42, 43
Behandling	Fixed	3 B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var % of Total	SE Var	Z-Value	P-Value	
Gjentak	631.162223	3.96%	1574.163172	0.400951	0.344
Error	1.53157E+04	96.04%	3890.186363	3.937004	0.000
Total	1.59468E+04				

-2 Log likelihood = 460.762871

Tests of Fixed Effects

Term	DF	Num DF	Den DF	F-Value	P-Value
Uttak	10.00	31.02	43.90	0.000	
Behandling	2.00	31.02	2.66	0.086	
Uttak*Behandling	20.00	31.01	1.37	0.210	

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
123.757	93.86%	87.73%	465.18	467.69

A19

Mixed Effects Model: DW versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood

DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1, 2
Uttak	Fixed	11 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 42, 43
Behandling	Fixed	3 B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var % of Total	SE Var	Z-Value	P-Value	
Gjentak	0.000000	0.00%	*	*	*
Error	3100.322868	100.00%	775.080717	4.000000	0.000
Total	3100.322868				

-2 Log likelihood = 408.805987

Tests of Fixed Effects

Term	DF Num	DF Den	F-Value	P-Value
Uttak	10.00	32.00	122.80	0.000
Behandling	2.00	32.00	0.33	0.722
Uttak*Behandling	20.00	32.00	0.98	0.503

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
55.6805	97.51%	95.03%	413.22	415.74

A19

Mixed Effects Model: RWC versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood

DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Gjentak	Random	2	1, 2
Uttak	Fixed	11	31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 42, 43
Behandling	Fixed	3	B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var % of Total	SE Var	Z-Value	P-Value
Gjentak	0.000000	0.00%	*	*
Error	13.089701	100.00%	3.272425	4.000000
Total	13.089701			0.000

-2 Log likelihood = 233.848041

Tests of Fixed Effects

Term	DF Num	DF Den	F-Value	P-Value
Uttak	10.00	32.00	87.24	0.000
Behandling	2.00	32.00	2.43	0.104
Uttak*Behandling	20.00	32.00	1.55	0.130

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
3.61797	96.60%	93.20%	238.26	240.78

Vedlegg 8. Variansanalyser for Vollebekk 2019

Variansanalyser for felt V19 vises under.

V19

Mixed Effects Model: FW versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood

DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Gjentak	Random	2	1, 2
Uttak	Fixed	7	30, 31, 32, 33, 34, 35, 36
Behandling	Fixed	3	B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var % of Total	SE Var	Z-Value	P-Value	
Gjentak	1151.188389	8.19%	2504.104315	0.459721	0.323
Error	1.28971E+04	91.81%	4078.419500	3.162278	0.001
Total	1.40483E+04				

-2 Log likelihood = 301.023308

Tests of Fixed Effects

Term	DF	Num DF	Den DF	F-Value	P-Value
Uttak		6.00	20.00	34.23	0.000
Behandling		2.00	20.00	0.36	0.700
Uttak*Behandling		12.00	20.00	0.89	0.573

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
113.565	91.51%	83.42%	305.69	307.11

V19

Mixed Effects Model: DW versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood

DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Gjentak	Random	2	1, 2
Uttak	Fixed	7	30, 31, 32, 33, 34, 35, 36
Behandling	Fixed	3	B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var % of Total	SE Var	Z-Value	P-Value	
Gjentak	0.000000	0.00%	*	*	*
Error	1207.713572	100.00%	372.708500	3.240370	0.001
Total	1207.713572				

-2 Log likelihood = 250.233711

Tests of Fixed Effects

Term	DF Num	DF Den	F-Value	P-Value
Uttak	6.00	21.00	214.61	0.000
Behandling	2.00	21.00	0.70	0.508
Uttak*Behandling	12.00	21.00	0.57	0.841

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
34.7522	98.41%	96.89%	254.90	256.32

V19

Mixed Effects Model: RWC versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood

DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Gjentak	Random	2	1, 2
Uttak	Fixed	7	30, 31, 32, 33, 34, 35, 36
Behandling	Fixed	3	B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var	% of Total	SE Var	Z-Value	P-Value
Gjentak	1.425772	16.04%	2.521493	0.565448	0.286
Error	7.463834	83.96%	2.360272	3.162278	0.001
Total	8.889606				

-2 Log likelihood = 145.030732

Tests of Fixed Effects

Term	DF Num	DF Den	F-Value	P-Value
Uttak	6.00	20.00	240.13	0.000
Behandling	2.00	20.00	5.55	0.012
Uttak*Behandling	12.00	20.00	1.41	0.242

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
2.73200	98.65%	97.36%	149.70	151.12

Vedlegg 9. Variansanalyser for Vollebekk 2020

Variansanalyser for felt V20 vises under.

V20

Mixed Effects Model: FW versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood

DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1, 2
Uttak	Fixed	8 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36
Behandling	Fixed	4 B1, B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var % of Total	SE Var	Z-Value	P-Value	
Gjentak	302.230595	3.80%	768.360781	0.393345	0.347
Error	7660.120151	96.20%	1945.672464	3.937004	0.000
Total	7962.350746				

-2 Log likelihood = 438.826570

Tests of Fixed Effects

Term	DF Num	DF Den	F-Value	P-Value
Uttak	7.00	31.00	94.98	0.000
Behandling	3.00	31.00	6.05	0.002
Uttak*Behandling	21.00	31.00	0.97	0.524

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
87.5221	95.73%	91.60%	443.24	445.76

V20

Mixed Effects Model: DW versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood

DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1, 2
Uttak	Fixed	8 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36
Behandling	Fixed	4 B1, B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var % of Total	SE Var	Z-Value	P-Value	
Gjentak	70.497205	5.27%	155.985555	0.451947	0.326
Error	1266.304352	94.73%	321.641627	3.937004	0.000
Total	1336.801558				

-2 Log likelihood = 381.435461

Tests of Fixed Effects

Term	DF Num	DF Den	F-Value	P-Value
Uttak	7.00	31.00	207.65	0.000
Behandling	3.00	31.00	5.95	0.003
Uttak*Behandling	21.00	31.00	0.69	0.812

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
35.5852	97.94%	95.94%	385.85	388.37

V20

Mixed Effects Model: RWC versus Gjentak, Uttak, Behandling

Method

Variance estimation Restricted maximum likelihood

DF for fixed effects Kenward-Roger

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Gjentak	Random	2	1, 2
Uttak	Fixed	8	29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36
Behandling	Fixed	4	B1, B2, B3, B4

Variance Components

Source	Var% of Total	SE Var	Z-Value	P-Value
Gjentak	0.000000	0.00%	*	*
Error	5.615074	100.00%	1.403769	4.000000
Total	5.615074			0.000

-2 Log likelihood = 207.023572

Tests of Fixed Effects

Term	DF Num	DF Den	F-Value	P-Value
Uttak	7.00	32.00	786.55	0.000
Behandling	3.00	32.00	1.59	0.212
Uttak*Behandling	21.00	32.00	0.65	0.846

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	AICc	BIC
2.36961	99.42%	98.87%	211.44	213.96

Vedlegg 10. Variansanalyser for felter sammenstilt

Variansanalyser for alle felter sammenstilt med utviklingsstadium vises under.

ANOVA: FW versus Felt; Behandling; Utviklingsstadium

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Felt	Random	4 A18; A19; V19; V20
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4

Analysis of Variance for FW

Source	DF	SS	MS	F	P
Felt	3	723100	241033	4,86	0,004
Behandling	2	33677	16838	0,34	0,713
Utviklingsstadium	3	6497966	2165989	43,69	0,000
Behandling*	6	132489	22081	0,45	0,846
Utviklingsstadium					
Error	81	4015650	49576		
Total	95	11402881			

Model Summary

R-	S	R-sq	sq(adj)
222,657	64,78%	58,70%	

ANOVA: DW versus Felt; Behandling; Utviklingsstadium

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Felt	Random	4 A18; A19; V19; V20
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4

Analysis of Variance for DW

ANOVA: RWC versus Felt; Behandling; Utviklingsstadium

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Felt	Random	4 A18; A19; V19; V20
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4

Analysis of Variance for Vann%

Source	DF	SS	MS	F	P
Felt	3	1922,2	640,74	9,02	0,000
Behandling	2	98,3	49,15	0,69	0,504
Utviklingsstadium	3	24385,3	8128,45	114,43	0,000
Behandling*Utviklingsstadium	6	68,0	11,33	0,16	0,987
Error	81	5753,8	71,03		
Total	95	32227,7			

Model Summary

R-

S R-sq sq(adj)

8,42821 82,15% 79,06%

Source	DF	SS	MS	F	P
Felt	3	91455	30485	5,70	0,001
Behandling	2	6129	3065	0,57	0,566
Utviklingsstadium	3	3721876	1240625	232,11	0,000
Behandling*Utviklingsstadium	6	11167	1861	0,35	0,909
Error	81	432942	5345		
Total	95	4263569			

Model Summary

R-

S R-sq sq(adj)

73,1092 89,85% 88,09%

A18

ANOVA: FW versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1; 2
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4

Analysis of Variance for FW

Source	DF	SS	MS	F	P
Gjentak	1	48972	48972	2,23	0,163
Utviklingsstadium	3	1164394	388131	17,68	0,000
Behandling	2	4760	2380	0,11	0,898
Utviklingsstadium*Behandling	6	74257	12376	0,56	0,751
Error	11	241461	21951		
Total	23	1533844			

Model Summary

R-

S R-sq sq(adj)

148,159 84,26% 67,08%

A18

ANOVA: DW versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1; 2
kode	Fixed	4 U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4

Analysis of Variance for DW

Source	DF	SS	MS	F	P
--------	----	----	----	---	---

Gjentak	1	3386	3386	0,63	0,444
Utviklingsstadium	3	847065	282355	52,46	0,000
Behandling	2	2011	1006	0,19	0,832
Utviklingsstadium*Behandling	6	34673	5779	1,07	0,433
Error	11	59209	5383		
Total	23	946344			

Model Summary

	R-
S	R-sq sq(adj)
73,3664	93,74% 86,92%

A18

ANOVA: RWC versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1; 2
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4

Analysis of Variance for Vann%

Source	DF	SS	MS	F	P
Gjentak	1	0,0	0,04	0,01	0,914
Utviklingsstadium	3	16981,8	5660,59	1573,18	0,000
Behandling	2	29,5	14,75	4,10	0,047
Utviklingsstadium*Behandling	6	97,0	16,16	4,49	0,015
Error	11	39,6	3,60		
Total	23	17147,9			

Model Summary

	R-
S	R-sq sq(adj)
1,89689	99,77% 99,52%

A19

ANOVA: FW versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1; 2
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4

Analysis of Variance for FW

Source	DF	SS	MS	F	P
Gjentak	1	35395	35395	2,80	0,123
Utviklingsstadium	3	4903811	1634604	129,11	0,000
Behandling	2	36211	18106	1,43	0,281
Utviklingsstadium*Behandling	6	141717	23620	1,87	0,175
Error	11	139270	12661		
Total	23	5256404			

Model Summary

R-
S R-sq sq(adj)
 112,521 97,35% 94,46%

A19

ANOVA: DW versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1; 2
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4

Analysis of Variance for DW

Source	DF	SS	MS	F	P
Gjentak	1	525	525	0,16	0,695
Utviklingsstadium	3	1586522	528841	162,78	0,000
Behandling	2	97	49	0,01	0,985
Utviklingsstadium*Behandling	6	28569	4762	1,47	0,275
Error	11	35738	3249		
Total	23	1651452			

Model Summary

R-
S R-sq sq(adj)
 56,9991 97,84% 95,48%

A19

ANOVA: RWC versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1; 2
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4

Analysis of Variance for Vann%

Source	DF	SS	MS	F	P
Gjentak	1	4,40	4,404	0,17	0,687
Utviklingsstadium	3	2962,02	987,339	38,47	0,000
Behandling	2	59,62	29,812	1,16	0,349
Utviklingsstadium*Behandling	6	150,69	25,115	0,98	0,483
Error	11	282,35	25,668		
Total	23	3459,08			

Model Summary

R-
S R-sq sq(adj)
 5,06636 91,84% 82,93%

V19

ANOVA: FW versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1; 2
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4

Analysis of Variance for FW

Source	DF	SS	MS	F	P
Gjentak	1	61577	61577	6,13	0,031
Utviklingsstadium	3	2244137	748046	74,44	0,000
Behandling	2	13471	6736	0,67	0,531
Utviklingsstadium*Behandling	6	63269	10545	1,05	0,446
Error	11	110541	10049		
Total	23	2492996			

Model Summary

S	R-sq	sq(adj)
100,246	95,57%	90,73%

V19

ANOVA: DW versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1; 2
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4

Analysis of Variance for DW

Source	DF	SS	MS	F	P
Gjentak	1	1162	1162	0,95	0,351
Utviklingsstadium	3	967004	322335	263,59	0,000
Behandling	2	1681	841	0,69	0,523
Utviklingsstadium*Behandling	6	4704	784	0,64	0,697
Error	11	13452	1223		
Total	23	988003			

Model Summary

S	R-sq	sq(adj)
34,9696	98,64%	97,15%

V19

ANOVA: RWC versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1; 2
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4

Analysis of Variance for Vann%

Source	DF	SS	MS	F	P
Gjentak	1	14,18	14,18	2,37	0,152
Utviklingsstadium	3	4247,18	1415,73	236,25	0,000
Behandling	2	44,66	22,33	3,73	0,058
Utviklingsstadium*Behandling	6	24,42	4,07	0,68	0,670
Error	11	65,92	5,99		
Total	23	4396,35			

Model Summary

S	R-sq	sq(adj)
2,44793	98,50%	96,87%

V20

ANOVA: FW versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1; 2
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4

Analysis of Variance for FW

Source	DF	SS	MS	F	P
Gjentak	1	30579	30579	2,58	0,136
Utviklingsstadium	3	1183492	394497	33,29	0,000
Behandling	2	18393	9197	0,78	0,484
Utviklingsstadium*Behandling	6	33718	5620	0,47	0,814
Error	11	130355	11850		
Total	23	1396537			

Model Summary

S	R-sq	sq(adj)
108,860	90,67%	80,48%

V20

ANOVA: DW versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Gjentak	Random	2 1; 2
Utviklingsstadium	Fixed	4 U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3 B2; B3; B4

Analysis of Variance for DW

Source	DF	SS	MS	F	P
Gjentak	1	5038	5038	2,89	0,117
Utviklingsstadium	3	547596	182532	104,81	0,000
Behandling	2	7229	3614	2,08	0,172
Utviklingsstadium*Behandling	6	7294	1216	0,70	0,657
Error	11	19157	1742		
Total	23	586315			

Model Summary

	S	R-sq	sq(adj)	R-
	41,7323	96,73%	93,17%	

V20

ANOVA: RWC versus Gjentak; Utviklingsstadium; Behandling

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Gjentak	Random	2	1; 2
Utviklingsstadium	Fixed	4	U1; U2; U3; U4
Behandling	Fixed	3	B2; B3; B4

Analysis of Variance for Vann%

Source	DF	SS	MS	F	P
Gjentak	1	1,95	1,95	0,25	0,627
Utviklingsstadium	3	5151,78	1717,26	220,92	0,000
Behandling	2	34,04	17,02	2,19	0,158
Utviklingsstadium*Behandling	6	28,85	4,81	0,62	0,712
Error	11	85,50	7,77		
Total	23	5302,12			

Model Summary

	S	R-sq	sq(adj)	R-
	2,78804	98,39%	96,63%	

Vedlegg 11. Behandling, felter sammenstilt

Middeltall for behandling for alle felter sammenstilt med utviklingsstadium vises i tabell V11.

Tabell V11: Gjennomsnittlig FW, DW og RWC for alle behandlinger på hvert felt og gjennomsnitt for alle felter. Verdier som er statistisk signifikante eller svært nær statistisk signifikante vises i rødt.

		B2	B3	B4
A18	FW/frø	851.89	884.39	878.17
	DW/frø	373.39	384.78	362.36
	RWC	54.64	56.45	57.30
A19	FW/frø	948.83	1090.20	1148.34
	DW/frø	345.55	395.96	396.92
	RWC	67.48	67.82	69.92
V19	FW/frø	1016.22	1023.19	1069.60
	DW/frø	400.13	420.43	407.82
	RWC	63.55	61.84	65.18
V20	FW/frø	920.60	979.92	921.82
	DW/frø	317.80	353.43	315.54
	RWC	66.77	64.30	66.89
Gj.snitt	FW/frø	934.38	994.42	1004.48
	DW/frø	359.22	388.65	370.66
	RWC	63.11	62.60	64.82



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway