



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp.
Institutt for Plantevitenskap

Effekt av forskjellige temperaturklime på vekst og utvikling hos seks norske kloner av humle (*Humulus lupulus* L.)

Therese Marie Mæland
Plantevitenskap

Forord

Det har vært interessant å lære om dyrking av humle, og jeg håper denne oppgaven kan bidra til å øke interessen for norsk humleproduksjon.

Jeg vil rette en stor takk til min hovedveileder førsteamanuensis Anne-Berit Wold for oppfølging og gode tilbakemeldinger underveis i arbeidet. Videre en stor takk også til biveileder forsker Mette Goul Thomsen ved NIBIO, både for at jeg fikk arbeide med humle, god hjelp med tilrettelegging og oppfølging av arbeidet i felt, samt god veiledning.

Teknikere på Apelsvoll, Unni, Else-Karin og Hans Gunnar, takkes for god hjelp under utførelsen av forsøket og hyggelig selskap til arbeidet. Samtidig vil jeg takke Unni for gode forklaringer. Jeg vil også rette en spesiell takk til professor emeritus Arne Oddvar Skjelvåg, for tålmodig opplæring i modellering av planteutvikling, hjelp til statistikk, lærerike diskusjoner og gode innspill til oppgaven. Flere venner og familie har bidratt med nyttige tilbakemeldinger, og jeg er takknemlig for dette.

Tilslutt vil jeg takke venner for godt selskap på Jordfag, og en fin studietid på Ås.

Ås, 18. mai 2016

Therese Marie Mæland

Sammendrag

Humle (*Humulus lupulus* L) har lang tradisjon som kulturplante i Norge, men kunnskapen om dyrking av planten er i stor grad borte her i landet. De siste årene har mikrobryggerinæringen vært interessert i lokale råvarer til øl, og har etterspurt norsk humle. For å vurdere mulighetene for produksjon, må dyrkingsegenskapene til det norske materialet undersøkes.

Denne oppgaven undersøkte effekten av forskjellige temperaturklima på vekst og utvikling hos seks norske kloner av humle. Ulike dyrkingssystem, friland, tunell og plasthus, ble benyttet for å få frem forskjellige temperaturklima. Plantene ble etablert fra rotstokkmasse samme året som forsøket ble gjennomført, og dyrket frem i potter.

Det ble oppnådd størst forskjell i temperatur mellom plasthus og de andre to dyrkingssystemene. I plasthus var dyrkingstemperaturen i gjennomsnitt var 19,0 °C, i tunell 14,6 °C i tunell og 14,0 °C på friland. Værforholdene sommeren 2015 var av betydning for temperaturforskjellene som ble oppnådd.

Både morfologisk og generativ utvikling gikk raskere under temperaturklimaet i plasthus. For alle kloner var fenologisk utviklingshastighet i gjennomsnitt to uker raskere her, sammenlignet med friland og tunell. Mellom dyrkingssystemene var lengde av sideskudd og antall nodier ved blomstring signifikant høyest i plasthus, og dette la grunnlaget for at også avlingene ble signifikant høyere her. Lengden av sideskudd økte signifikant fra tunell til friland, men avlingen var signifikant lik under disse temperaturklimaene.

Klon 6, 7, 37 og 40 hadde signifikant økning i avling i plasthus, samtidig som klon 6 og klon 40 også utviklet signifikant lengre sideskudd her. Temperaturøkningen i plasthus hadde ikke signifikant betydning for avling og lengde av sideskudd for klon 1 og klon 19.

Klon 40 markerte seg som mest interessant for produksjon. Under alle temperaturklima utviklet den i gjennomsnitt lengst sideskudd. Høyt antall nodier ved blomstring og sen fenologisk utviklingshastighet dannet grunnlaget for den høyeste gjennomsnittsavlingen totalt. Klon 6, 7 og 37 tydet også på å være interessante for produksjon, mens klon 1 og klon 19 kom dårligst ut i dette forsøket.

Abstract

Hops (*Humulus lupulus* L.) has formerly been cultivated in Norway, however, much of the knowledge as to cultivating the plant has been lost over time. Over the past few years, there has been an increased interest amongst microbreweries to use local ingredients for brewing beer, and a request for knowledge on Norwegian hops. To consider the possibilities for production, it is necessary to investigate the cultivation characteristics of the Norwegian clones.

This research has investigated the effect of three different temperature climates with regards to growth and development of six clones of Norwegian hop. Three different production systems were used to achieve different temperature climates, which included field, an open tunnel and a closed tunnel. The plants were established from rootstocks the same year as the trials were conducted, and the plants were grown in pots.

The largest difference in temperature was between the closed tunnel and the other two production systems. The temperatures were on average 19,0 °C in the closed tunnel, 14,6 °C in the open tunnel and 14,0 °C in the open field. The weather throughout the season influenced the variation in the recorded temperatures.

Both morphological and generative development increased in rate under the temperature climate in the closed tunnel. Phenological development increased with a minimum of two weeks in the closed tunnel for all clones. Between the production systems, the length of the lateral shoots and number of nodes at flowering was significantly higher in the closed tunnel, and this was probably the main reason for the significantly higher yield here. The length of the lateral shoots increased significantly from the open tunnel compared to that in the field, but there was no significant difference in the yield observed amongst them.

Clone 6, 7, 37 and 40 had a significant increase in yield when grown in the closed tunnel, and clone 6 and clone 40 also developed significantly longer lateral shoots in the closed tunnel. The increase in temperature in the closed tunnel did not have a significant effect on the yield, nor length of lateral shoots for clone 1 and clone 19.

Clone 40 had outstanding results and was evaluated as the most interesting clone for use in production. In all production systems, it developed on average the longest lateral length. Clone 40 also had a high number of nodes at flowering, as well as a slow phenological development rate, which provided a good basis for the high yield. Clones 6, 7 and 37 also

showed to have potential for production, whereas clones 1 and clone 19 showed less potential in this research.

Innhold

1	Innledning	3
1.1	Humleplantens historie i Norge og ny interesse for produksjon	3
1.2	Dyrking av humle	5
1.3	Morfologi, vekst og utvikling	9
1.3.1	Rotstokk	9
1.3.2	Vegetativ vekst	10
1.3.3	Generativ utvikling	12
1.3.4	Hvile og vernalisering	13
1.4	Effekt av temperatur og fotoperiode på vekst og utvikling	14
1.4.1	Temperatur	14
1.4.2	Fotoperiode	15
1.5	Problemstilling for denne oppgaven	16
2	Material og metode	17
2.1	Plantematerialet	17
2.2	Forsøksoppsett og gjennomføring	18
2.2.1	Etablering og oppfølging av forsøksplantene	18
2.2.2	Gjødsling og plantevern	21
2.3	Temperaturklime	22
2.4	Registreringer	24
2.4.1	Temperaturregistreringer	24
2.4.2	Planteregistreringer	24
2.5	Statistiske analyser	25
2.5.1	Analyse av sideskuddlengde og avling	25
2.5.2	Analyse av sammenheng mellom nodieutvikling og temperatur pr. uke	26
2.5.3	Analyse av daglig fenologisk utviklingshastighet mot temperatur	26
2.5.4	Analyse av antall nodier ved blomstring	26
2.5.5	Analyse av avling som funksjon av klon og første blomstring	26
3	Resultater	27
3.1	Temperatur og luftfuktighet	27
3.2	Utvikling og lengde av sideskudd	30
3.3	Sammenheng mellom nodieutvikling og temperatur pr. uke	32
3.4	Oversikt over planter med kongle og blomst	34
3.5	Daglig fenologisk utvikling mot temperatur	35
3.6	Antall nodier ved første blomstring	37

3.7	Avling.....	38
3.7.1	Effekt av temperatur på konglesetting og avling	38
3.7.2	Avling pr. klon	39
3.7.3	Effekt av temperaturklima og klon på avling	40
3.8	Avling pr. klon sett i sammenheng med første blomst.....	41
3.9	Forekomst av bladlus og sykdom.....	43
4	Diskusjon	45
4.1	Virkning av dyrkingssystem temperatur og luftfuktighet	45
4.2	Virkning av temperaturklima på morfologisk utvikling	46
4.2.1	Sideskudd.....	47
4.2.2	Nodieutvikling	50
4.3	Virkning av temperaturklima på generativ utvikling	51
4.3.1	Nodiestadium ved blomstring	52
4.3.2	Betydningen av daglengde for blomstring.....	53
4.4	Avling.....	55
4.4.1	Effekt av morfologisk og generativ utvikling som grunnlag for avling	55
4.4.2	Karakteristikk av klonene rangert etter avling.....	56
4.5	Bladlus og sykdom.....	59
4.6	Generelle vurderinger av forsøksoppsett og temperaturklima	60
4.7	Anbefalinger for videre forsøk og produksjon.....	61
5	Konklusjon.....	63
6	Kilder	65
	Vedlegg A – Daglengde på Apelsvoll under forsøksperioden.....	69

1 Innledning

1.1 Humleplantens historie i Norge og ny interesse for produksjon

Humle (*Humulus lupulus* L., *Cannabaceae*) er en viktig ingrediens i øl. Den tilsettes for å gi ølet bitterhet og aroma, og tradisjonelt for å konservere ølet. Humle er en gammel kulturplante i Norge som har vært dyrket her siden vikingtiden (Ryvarden 1993). Fra 1300-tallet ble det etablert humlehager ved norske kloster, og klostervesenet bidro til å spre kjennskapen om humle i Norge (Børtnes 1997). I en periode fra rundt 1400 til 1700-tallet var det lovpålagt å dyrke humle på gårdene her i landet opp til Nord-Trøndelag. Humle-dyrkingen foregikk også lengre nord. Slik fikk humlen vid utbredelse i landet, og det ble dyrket lokale kloner av humle.

Humle hevdes å ha kommet til Norden østfra med finsk-ugriske eller slaviske folkestammer under folkevandringene, og senere forvillet seg (Dragland et al. 2003). Samtidig har det vært spekulert i om humlen kan ha kommet fra naboland i sør, men sammenligninger av DNA-profiler av danske og norske humlekloner viste at disse i stor grad hadde ulik genetisk profil (Solberg et al. 2013).

Kunnskapen om dyrking av humle i Norge er nesten borte, men de siste årene har det vært en økende interesse for bruk og dyrking (Thomsen 2014). Dette kan ha sammenheng med økt oppmerksomhet om, og marked for mat- og drikkevarer med lokal tilknytning, historie og smak. Antall mikrobryggeri i Norge ble firedoblet fra 2010 til 2015 (Schou 2015), og det er i dag registrert 94 mikrobryggeri i Bryggeri- og Drikkevareforeningen (Knudsen 2016). Disse står for fire prosent av ølet som drikkes i Norge, men hele 20 prosent av bryggeri-arbeidsplassene. Et fortrinn for småskalaprodusenter er å kunne markedsføre et kortreist produkt med kjent opphav, dyrkings- og produksjonshistorie (Sundgren et al. 2014). I dag blir det meste av humlen som tilsettes ølet importert. De siste årene har det vært økt etterspørsel fra mikrobryggeriene etter norsk humle.

I 2013 startet et fireårig innovasjonsprosjekt for næringslivet (IPN) «Norsk malt, humle og urter – smaken av norsk øl». Mikrobryggeriet Nøgne Ø leder prosjektet, i samarbeid med 12 andre mikrobryggeri, tre bryggeri og NORBYGG-Norsk hjemmebryggeriforening. Graminor og Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) er med som FoU-partnere. Prosjektet finansieres av Norges Forskningsråd og prosjektdeltakerne.

Det overordnede målet for prosjektet er å samle gammel og ny kunnskap om råvarer til produksjon av norsk øl. Dette skal gi nye muligheter for innovasjon og nyskaping blant interesserte firmaer og institusjoner som driver med brygging i Norge.

De senere årene har humleavlingene slått feil i flere land Norge importerer fra, og kvalitetsforringelse i innholdsstoffene har forekommet på grunn av forandringer i klimaforhold (Mozny et al. 2009; Thomsen 2014) Dette taler for å undersøke mulighetene for norsk produksjon.

Denne oppgaven undersøker dyrkingsegenskapene til seks kloner av norsk humle. Fokuset er hvordan forskjellige temperaturklime påvirker vekst og utvikling. Målet er å bidra med kunnskap om klonene som vil kunne være til nytte for dyrkere, og bidra til et helnorsk øl.

1.2 Dyrking av humle

Om lag 30 land i verden har kommersiell produksjon av humle (Haunold 2010). Av disse er de største produsentene Tyskland, USA, Kina, Tsjekkia og Polen.

Humle dyrkes i hovedsak mellom 30 ° og 50 °N (Neve 1991). Det kreves 120 frostfrie døgn for at humlen skal gi avling, og dette begrenser dens utbredelse nordover (Kølster et al. 2009). Golfstrømmen gjør at Norge får et mildere klima enn breddegradene skulle tilsi, og humle har god vekst her i landet (Barthel 2014). Sørøver begrenses avling av for kort daglengde (Kølster et al. 2009).

Humle er en flerårig plante, hvor overjordiske deler visner ned om høsten. Den overvintrende rotstokken er hardfør (Rybáček 2012). I vekstsesongen utvikler humlen seg best under solrike og lune forhold. Le er viktig for å unngå fysiske skader, som kan oppstå på planten og oppbindingssystemet ved sterk vind (Kølster et al. 2009). Dette gjelder spesielt i juli og august når det er mye plantemateriale med høy vekt. Samtidig kan mye bevegelse føre til stress for planten, som kan ha negativ påvirkning på avling.

Humlens kraftige vekst medfører et stor behov for vann og gjødsel (Hieronymus 2012). Planten har best vekst på veldrenert, humusrik jord med optimalt pH område 6-7,5. Nitrogennivået skal være om lag 10 kg N pr. daa. Høyere nitrogennivå har vist seg å redusere kvaliteten av avlingen.

Den kultiverte humlen er alltid hunkjønn. Humle klonformeres med rhizomer, rotstokkmasse eller med stiklinger (Eyck & Gehring 2015). Nye felt gir ikke full avling før tidligst tredje året etter etablering (Perrault 2010).

På et humlefelt er det vanligvis 400-500 planter pr. daa (Børtnes 1997). Hver plante krever plass, lys og luftighet, og skal helst disponere 3 m² i bakkeareal, og 4-8 m i høyden (Kølster et al. 2009). Plantene dyrkes vanligvis i rader, med 1,2 m mellom plantene. Radavstanden tilpasses maskinelt utstyr, og er ofte 2-4 m. Om våren bryter flere skudd fra hver plante. Det er vanlig at 1-6 skudd pr. plante får vokse opp, mens resten av skuddene fjernes.

I produksjon fjernes også sideskudd langs den nederste meteren av rankene (Perrault 2010). Tett plantemasse gir fuktige og skyggefulle forhold, som er gunstig for flere sopp og skadedyr.

Humle er en klatreplante, som i naturen vanligvis vokser på andre planter (Dubbelden & Oosterbeek 1995). Ettersom skuddene ikke kan bære sin egen vekt, kalles de ofte for ranker. I produksjon dyrkes humle i et oppbindingssystem, hvor rankene vokser opp langs klatretråder, som festes i stålstrenger spent opp mellom 4-5 m høye stokker (Figur 1). Det er vanlig med fire klatretråder pr. plante, som hver blir omslynget av 1-4 ranker (Simmonds 2013). Antallet er avhengig av klonens egenskaper, som for eksempel hvor mye bladverk den danner. Styrken av oppbindingssystemet må tilpasses antall planter og vekten av de utvokste rankene.



Figur 1: Dyrkingssystem for humle på NIBIO, Apelsvoll. Fra strenger mellom pålene henger klatresnorer som humlerankene vokser opp langs. Foto: Therese Mæland

Humle dyrkes vanligvis på friland. Ved NIBIO Apelsvoll har det blitt anlagt felt i tunell, som har vist å gi bedre vekst og høyere avling enn på friland (Sundgren et al. 2014; Thomsen 2014). Dyrking i tunell gir plantene andre vekstvilkår. Temperaturen øker i snitt 1-2 °C over friland (Døving et al. 2011). Det er særlig ved solrike forhold med høy innstråling at temperaturen øker i tunell. Under kjølige værforhold er det mindre forskjeller mellom tunell og friland. I tunell kan vanntilgangen styres, og dermed virke forebyggende mot soppsykdommer. Samtidig har biologiske bekjempelsesmidler ofte større effekt i tunell.

Humlen blir lett angrepet av sykdom og skadedyr (Thomsen 2014). De mest problematiske skadegjørerne er humlebladskimmel (*Pseudoperonospora humuli*), meldugg (*Erysiphales spp.*), spinnmidd (*Tetranychidae spp.*), visnesyke og bladlus, spesielt humlebladlus (*Phorodon humuli*) (Figur 2). Skadegjørerne kan begrense vekst og ødelegge kvaliteten av humlekonglene. Fjerning av gammelt plantemateriale fra felt er viktig for å hindre smitteoverføring til neste års vekst.



Figur 2: Skadegjørere på humle: Humlebladskimmel (venstre) og humlebladlus (høyre).
Foto: Therese Mæland

Avlingen hos humle ligger i hunnblomstene, som ligner på kongler (Figur 3). I Tyskland er det mulig å høste kongler med tørrvekt opptil et par kg pr. plante (Kølster et al. 2009). I forsøk med danske kloner har avlingen vært oppe i 0,8 kg pr. plante, men gjennomsnittet har ligget betydelig under dette, ofte rundt 0,2 kg (Hallund 2008).

I Norge har forsøk på Apelsvoll med norske kloner gitt tilfredsstillende avlinger, med inntil 0,8 kg pr plante (Thomsen 2014) . Dyrkingsforsøk på Ullensvang i 1926 registrerte planter med opptil 1,8 kg avling pr. plante. Forsøk med importerte humlesorter på Helgøya i Hedmark på slutten av 1800-tallet skal også ha gitt gode avlinger.

For å bevare kvaliteten tørkes konglene etter høsting, og oppbevares vakuumpakket. Avlingen måles ofte i gram tørrstoff (g TS).

Humlekonglene inneholder stoffer som tilfører ølet både bitterhet og aroma (Hieronymus 2012). De viktigste bitterstoffene er isohumulon (α -syrer) og lupulin (β -syrer). Lupulin er et naturlig konserveringsmiddel, og antakelig årsaken til at en begynte å tilsette humle i øl. Eteriske oljer i konglene inneholder ulike aromatiske stoffer. I tillegg inneholder konglene garvestoffer, flavonoider, fettstoffer og andre stoffer som fytøstrogen (Thomsen 2014)

Humlens innhold av både bitter- og aromastoffer varierer med årlige klimavariasjoner, dyrkingssted og dyrkingsmetode (Srečec et al. 2008). Aromahumle er spesielt knyttet til 'terroir', summen av lokale preg et bestemt miljø har på kvaliteten (Mozny et al. 2009). Dersom en klon flyttes fra sitt dyrkingssted, kan dette forandre klonens karakter.

Klonmaterialet i Norge kan ha historie som bryggesorter, og være utvalgt for sine spesielle egenskaper. Dette kan bidra til nye og spennende smaker basert på norsk 'terroir'.



Figur 3: Gjennomskåret humlekongle. Hentet fra Kidmose (2009)

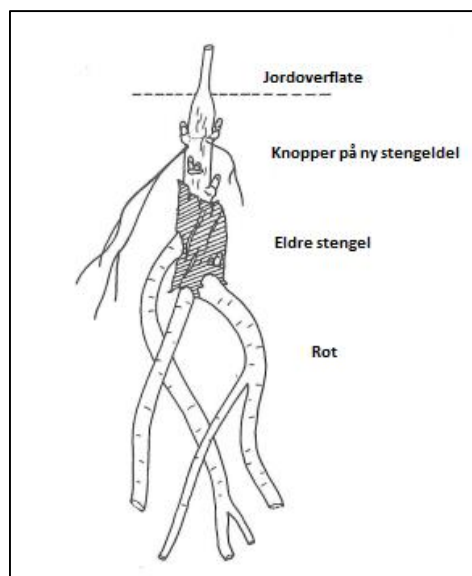
1.3 Morfologi, vekst og utvikling

Rundt mai vokser den flerårige humlen opp fra rotstokkmassen. Mellom juni og juli er den vanligvis fullt utvokst og har dannet blomster. Konglene settes vanligvis i august, og høstes innen oktober.

1.3.1 Rotstokk

Rotstokken fungerer som overvintringsorgan (Neve 1991). Hvileknopper fra den underjordiske stengelen på rotstokken bryter og setter nye skudd påfølgende vår (Figur 4). Disse skuddene kan også utvikle seg til rhizomer, som er underjordiske, krypende jordstengler.

Humle har to typer røtter (Miller 1959). De horisontale røttene er fibrøse, og springer ut fra en tjukkere, vertikal hovedrot. De horisontale røttene strekker seg inntil 2-3 meter fra planten, vanligvis innenfor en jorddybde på 20-30 cm. Hovedfunksjonen til disse røttene er å samle vann og næring, samt å forankre humleranken. De vertikale røttene er mer kjøttfulle og skjøre, og har hovedfunksjon som lagringsorgan. Disse kan strekke seg ned til 1,5 m.

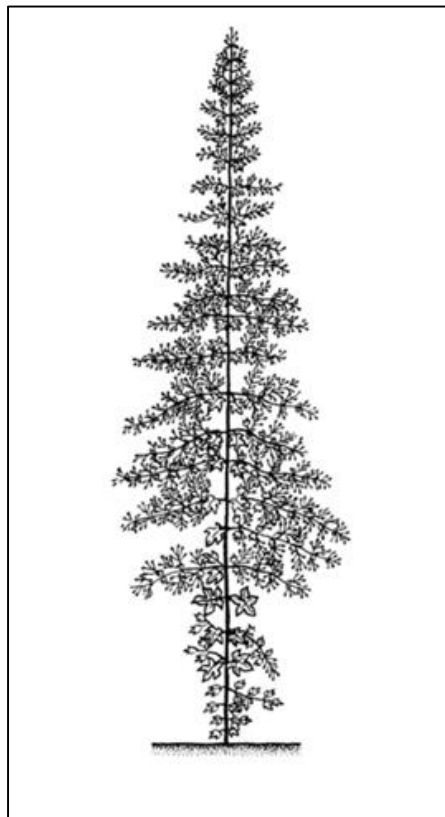


Figur 4: Rotstokkmasse av humle. Modifisert etter Neve (1991)

1.3.2 Vegetativ vekst

Humle er en klatreplante med svært frodig vekst. Planten vokser hurtig, med strekningsvekst inntil 18-20 cm pr. døgn (Børtnes 1997). Rankene blir ofte 5-6 meter høye i løpet av en vekstsesong. Stengelen snur seg med urviseren. Under barken har stengelen en heksagonisk form, som kan gjøre seg framtreddende på enkelte kloner (Rybáček 2012). Grove, tornlignende hår, vokser langs alle seks kanter av stengelen. Disse består i hovedsak av silikater, og gjør at skuddene kan feste seg til stammer, greiner og oppbindingssystem, som benyttes i kommersiell dyrking.

Humleranken består av hovedstengel og sideskudd (Figur 5). Bladene er festet i nodier og sitter parvis motsatt på stengelen. De er håndflika og taggete langs kanten. Langs hovedstengelen er bladene ofte 5-7-flika, mens bladene på sideskuddene vanligvis er 3-5-flika (Rybáček 2012). Samtidig er bladene på hovedstengelen større og grovere enn bladene på sideskuddene. Dette har sammenheng med at bladene på hovedstengelen utvikler seg først.



Figur 5: Humleranke med hovedstengel og sideskudd. Hentet fra Rybáček (2012)

Ved hvert bladfeste langs hovedstengelen dannes tre hvilende knopper (Rybáček 2012). Den midterste knoppen kan strekke seg til et lengre sideskudd, mens de to omliggende knoppene utvikler seg til to korte blomsterstilker (Figur 6).

Apikal dominans kontrollerer bryting av knoppene i bladfestet (Rybáček 2012). Ved økt avstand fra toppskuddet svekkes den apikale dominansen. Hvilende knopper lenger nede på planten ofte bryte først, og som regel ha lengst vekst. Dette gir den karakteristiske arkitekturen av humleranken (Figur 5). Sideskudd nederst på ranken utvikles ikke i særlig grad, trolig på grunn av lysmangel.



Figur 6: Sideskudd hos humle. Foto: Therese Mæland

Antall og lengde av sideskudd er av betydning for avling (Simmonds 2013). Antall nodier planten utvikler, påvirker hvor mange sideskudd som kan dannes. Korte internodier kan øke antallet nodier som utvikles. Internodiene kan reguleres av nitrogengjødsling og klima. Rybáček (2012) referer til Rybáček (1967) som hevdet sideskudd å 50-70 cm ga høyest avling.

Hvor mye plantemasse humlen produserer, er av betydning for hvor mange kongler den kan sette og innholdsstoffene i disse (Perrault 2010). I tillegg til antall blader er også bladstørrelse av betydning. Hovedfunksjonen til bladene er å produsere fotosyntese produkter som planten bygger sin videre vekst på. Fotosyntese hastigheten har vist seg å variere mellom ulike kloner (Neve, 1991). Produkter fra fotosyntesen benyttes enten direkte til vekst, eller lagres midlertidig i hovedstengelen, for senere å benyttes til mating av konglene (Rybáček 2012).

1.3.3 Generativ utvikling

Ved blomstring avtar den vegetative veksten, og produkter fra fotosyntesen allokeres til produksjon av kongler (Rybáček 2012). Hunnblomstene forekommer i blomsterstander langs en sentralakse (Figur 7). Blomstene ligner på kongler når de er modne for høsting. Dette skyldes sterk vekst av høyblad, blader like under blomstene. Disse kalles ofte skjell. På skjellene sitter kjertelhår som inneholder aromatiske stoffer. Dersom hunnblomstene blir bestøvet og produserer frø, mister de verdi til ølbrygging (Simmonds 2013). Hannplanter bør fjernes fra områder rundt humledyrking, for å hindre pollinering av hunnblomster og produksjon av frø i konglene.



Figur 7: Hunnblomsten hos humle. Foto: Therese Mæland

1.3.4 Hvile og vernalisering

Som følge av kortere daglengde utover høsten går humle inn i en hvilefase (Williams et al. 1961). Det innebærer at veksten stopper opp, og overjordiske plantedeler visner ned. Dette er en del av tilpasningsstrategien til humle ettersom vekstbetingelsene gjennom vinteren er ugunstige. Hvilen induseres gradvis. Fotosyntesen fortsetter en periode utover høsten selv om veksten opphører. Produkter fra fotosyntesen transporteres til lagringsrota som fortykkes (Miller 1959). Stivelsen i rota benyttes til neste års skuddvekst på våren. Hvileknopper dannes på rotstokken ved at knoppene her svulmer opp.

For å bryte hvilen kreves det en periode med lav temperatur gjennom vinteren.

Vernaliseringskravet har vist seg å variere mellom kloner. De fleste kloner krever en kuldestimulus under 4 °C over fem uker (Thomas 1971). Samtidig må temperaturforholdene bli tilfredsstillende på våren for at veksten skal gjenopptas (Williams et al. 1961). Hvilen regnes som avsluttet når hvileknoppene bryter.

1.4 Effekt av temperatur og fotoperiode på vekst og utvikling

Temperatur og fotoperiode er to viktige faktorer for vekst og utvikling for planter.

Vekst referer til plantens akkumulering av økning i vekt, volum eller lengde, mens utvikling gjenspeiler tidspunkt for ulike faser i plantens livssyklus (Ritchie & NeSmith 1991). I tillegg til miljøfaktorer er vekst og utvikling påvirket av genetiske faktorer, som kan variere mellom kloner.

1.4.1 Temperatur

Temperatur er viktig for produksjon og utvikling i alle planter, og påvirker utviklingen gjennom hele plantens livssyklus (Hatfield & Prueger 2015). Rybáček (2012) hevdet at humlen krever temperaturer over 8 °C for vekst, og at vekst stopper opp dersom temperaturen overskrider 35 °C. De metabolske prosessene i planter er temperaturavhengige, og vegetativ vekst øker med temperatur opp til artens optimumstemperatur (Went 1953). For de fleste planter har vegetativ utvikling høyere optimumstemperatur enn generativ utvikling. Arter tilpasset et kjølig klima har vanligvis lavere optimumstemperaturer enn arter fra et mildere klima. Dette kan innebære at de norske humleklonene har andre temperaturkrav enn litteraturen fra sørligere land oppgir.

Temperatur påvirker kvalitet av humlekonglene (Pavlovic et al. 2012; Srečec et al. 2004). En økning i temperatur vil gi en raskere fenologisk utvikling og korte ned vekstperioden. Dette antas å gi reduksjon i avling så vel som innholdet av α -syre.

Ulike studier viser til forskjellige erfaringer for å oppnå ønsket kvalitet i konglene. En varm, tørr sommer med mye sol under konglesetting ga lavere harpiksinnhold i konglene, enn en fuktig sommer med lavere temperaturer og normal mengde sol i Tsjekkia (Zattle & Jehl 1962). Smith (1970) fant ut at gjennomsnittstemperaturen 40-60 dager før modning av konglene påvirket α -syre innholdet. Han anslo også at høye temperaturer, over 26 °C, hadde negativ påvirkning på α -syre innholdet. Lyashenko (1985) fant at α -syre innholdet ble redusert selv ved 18 °C.

Kvaliteten av humlekonglene kan være sårbar med hensyn på økte temperaturer som følge av klimaendringer (Mozny et al. 2009). Simuleringsmodeller har vist at avlingene kan reduseres med inntil 7-10 % for Saaz-humle i Tsjekkia.

1.4.2 Fotoperiode

Fotoperiodisme er plantenes reaksjon på daglengden. Fotoperiode påvirker ofte utvikling kun gjennom enkelte faser av livssyklusen, ofte i forbindelse med blomstring (Taiz & Zeiger 2010). Thomas & Schwabe (1969) demonstrerte at humle er en ekte kortdagsplante. Den reagerer både på daglengde og lysavbrudd i mørkeperioden. Blomsterknopper hos humle dannes kun dersom daglengden er av kortere varighet enn en viss kritisk lengde. Under kortdagsbetingelsene skjer det en fotoperiodisk induksjon av blomstringen, men det synlige resultatet i form av blomster kommer først dager eller uker seinere.

Om våren må humleplanter nå et gitt morfologisk utviklingsstadium før de er mottakelige for fotoperiodisk respons, slik at blomstringen kan initieres (Thomas & Schwabe 1970).

Morfologisk utvikling er et samspill av både høyde av rankene og antall nodier utviklet. Antall nodier som må være utviklet for å respondere på fotoperiodisk stimuli har vist seg å variere mellom ulike kloner (Thomas & Schwabe 1969).

Thomas & Schwabe (1969) gjennomførte en omfattende studie i England, hvor de undersøkte samspillet mellom temperatur og fotoperiode for tre kloner av humle. Temperatur viste å kunne påvirke kravet til daglengde for humle. Under lavere temperaturer blomstret humlen selv ved lengre daglengde, mens blomstring kunne bli hemmet av en kombinasjon av høy temperatur og lange dager. I veksthusforsøk, med dyrkingstemperaturer over 15 °C, ble kritisk daglengde vist å ligge mellom 15,5-16,5 timer for de testede klonene. Under høye dyrkings-temperaturer var det ikke mulig å oppnå blomstring ved daglengde over 17,5 timer. Ved lavere temperaturer viste den kritiske daglengden seg å kunne forskyves. Dette førte til utsatt blomstring. Ved kontinuerlig lys i 24 timer forekom ikke blomstring hos humle, men vegetativ vekst fortsatte. Minimumskravet til daglengde viste seg å være åtte timer, og ved denne fotoperioden opphørte vekst og utvikling.

1.5 Problemstilling for denne oppgaven

Kunnskapen om dyrking av humle fra tidligere humlehager i Norge er i stor grad borte. For å vurdere mulighetene for produksjon av norske kloner må det bygges opp og erfaring med sorter og praksis under norske forhold tilpasset dagens dyrkingsteknikk.

Denne oppgaven søker å kartlegge dyrkingsegenskapene til seks utvalgte kloner av norsk humle. Den sentrale problemstillingen er hvordan temperatur påvirker vekst og utvikling. Med tanke på praktisk dyrkingsveiledning og for å kunne anslå avling er det viktig å kjenne driverne for utvikling og vekstens responser på disse.

Effekten av tre forskjellige temperaturer på vekst og utvikling hos seks kloner av norsk humle ble undersøkt. Ulike temperaturklima ble oppnådd ved tre ulike dyrkingssystem; Friland, tunell og plasthus.

2 Material og metode

2.1 Plantematerialet

Seks ulike kloner av humle (*Humulus lupulus* L.) ble valgt ut på grunnlag av resultater fra tidligere undersøkelser, opprinnelse og en nord-sør gradient. Plantematerialet ble hentet fra Norsk klonsamling for humle ved NIBIO, Apelsvoll (60° N, 10° Ø). Denne klonsamlinga er et resultat av «Nordisk humleprosjekt 2000-2002», finansiert av Nordisk Genbank og NIBIO (Dragland et al. 2003).

Plantematerialets nord-sør opprinnelse var fra lengst nord klon 19, videre fulgt av klon 37, klon 6, klon 7, klon 40 og lengst sør klon 1 (Tabell 1). Fra tidligere undersøkelser har disse klonene vist seg sterke mot sykdom, gitt høy avling og hatt tilfredsstillende innhold av α -syrer og eteriske oljer til brygging (Thomsen 2014).

Tabell 1: Opprinnelsessted for utvalgte humlekloner fra Norsk klonsamling for humle. Modifisert etter Dragland et al. (2003)

Klon nr	Opprinnelse			
	Funnsted	Kommune	Fylke	Bredde- og lengdegrad (° N, ° Ø)
1	Stangholmen, Fevik	Grimstad	Aust-Agder	58, 8
6	Loi, Kroken i Skjolden	Luster	Sogn og Fjordane	61, 7
7	Statens gartnerskole, Veia	Ringsaker	Hedmark	61, 11
19	Olsrud, Lundenes	Harstad	Troms	69, 16
37	Visthus	Vevelstad	Nordland	66, 13
40	Egenes	Kvinesdal	Vest-Agder	58, 6

2.2 Forsøksoppsett og gjennomføring

Forsøket ble gjennomført ved NIBIO Apelsvoll, og ble satt opp med et randomisert blokkdesign. Seks ulike kloner ble dyrket frem i pletter. Disse ble plassert ved tre ulike dyrkingssystem, for å få frem effekten av ulike temperaturklime. Ved hvert temperaturklime var det tilsammen ni planter fra hver klon, fordelt på tre gjentak. I tillegg til de totalt 162 forsøksplantene ble det også benyttet kantplanter på enden av rekkene for å justere for lysforhold, vind og eventuelle andre forstyrrelser.

2.2.1 Etablering og oppfølging av forsøksplantene

Rotstokkmasse av de valgte klonene ble lagret i pletter med fuktig jord ved 1 °C fra høsten 2014. Etablering av planter til dette forsøket ble satt i gang i starten av april 2015, ved å legge rotstokkmasse til spiring i Vefi såbrett (37 x 23 cm) med Gartnerjord fra Tjerbo. Det var ulik mengde rotstokkmasse tilgjengelig for de forskjellige klonene.

Garterjord fra Tjerebo som ble benyttet i dette forsøket besto av sphagnumtorv H2-H5, sand, leire, kalksteinsmel og mikronæring. Surhetsgraden til jorda var pH 5,5–6,5.

Klon 19 og klon 40 hadde færre skudd fra rotstokkmassen etter tre uker, sammenlignet med de andre klonene (Figur 8).



Klon 1



Klon 6



Klon 7



Klon 19



Klon 37



Klon 40

Figur 8: Spiring av rotstokkmasse for ulike kloner i plantebrett. Foto: Therese Mæland

Etter tre uker ble stiklinger av klon 1, 6, 7, 37 og 40 etablert i Vefi firkantpotter (8,5 x 8,5 x 6,5 cm) med Gartnerjord fra Tjerbo (75 %) og perlite (25 %). På grunn av dårlig spiring, hadde Klon 40 få stiklinger av god kvalitet. Etableringer av stiklinger av klon 19 ble utsatt med ti dager, da spiringen fra rotstokkmassen var spesielt sen hos denne klonen. Stiklingene ble plassert under plasttelt i veksthus ved 20 °C for å opprettholde et miljø med høy relativ luftfuktighet og varme frem til roting (Figur 9).



Figur 9: Stiklinger under plasttelt i drivhus. Foto: Therese Mæland

Alle kloner ble akklimatisert en uke i veksthus, før de ble satt ut i slutten av mai. Klon 19 ble satt ut en uke senere enn de andre klonene, på grunn av treg spiring. Akklimatisering i veksthuset ble gjennomført ved å sette opp lukene i taket. Dette ble gjort slik at plantene skulle få en gradvis overgang til normal luftfuktighet. Etter at plantene var satt ut ble de dekket med fiberduk.

I begynnelsen av juni ble alle plantene pottet over i 7,5 L potter med Gartnerjord fra Tjerbo, hvor jordblandingen ble tilsatt 25 L perlite pr. 320 L jord. Alle planter ble plassert i sine respektive dyrkingssystem 10. juni. I midten av juni ble alle planter klippet ned til 10 cm, hvor bladmasse fra spiringen i veksthus ble fjernet. Nye skudd brøt fra knopper i bladhjørnene.

Etter registreringsstart 29. juni ble det kun drevet frem ett hovedskudd i hver potte. På de nederste 20 cm av hovedskuddet ble sideskudd klippet bort underveis, for at plantemassen skulle være luftigere. Dette virket forebyggende mot soppdannelse.

Alle pottene ble plassert på to parallelle trelister, for god drenering og for å hindre at plantene rotet seg i bakken. Pottene ble plassert inntil hverandre på rekker langs en nord-sør akse, med en svak vestvendt helling på om lag 10 °. I plasthus og på friland ble alle plantene plassert på samme rekke. I tunell sto plantene langs tre kortere rekker, med 1,5 m avstand mellom rekkene.

I hver potte ble det festet en klatretråd i en plugg som ble forankret i jorda i potta, tett inntil planterota. Klatretrådene ble forlenget etter hvert som plantene vokste.

2.2.2 Gjødsling og plantevern

Alle planter fikk tilførsel av gjødslingsmiddelet Resistim gjennom dryppvanning i pottene. Det var 1,5 % Resistim blandet inn i dryppvanningen gjennom hele sesongen. Alle plantene i de ulike dyrkingssystemene fikk lik dosering. Resistim er produsert av Azelis og er et kalsiumfosfat (0-6-11), som også inneholdt biostimulant, en blanding av forskjellige substanser og mikroorganismer som skal styrke plantenes vitalitet. Det ble også gjødslet med Calcinit og Superba Rød, begge produsert av Yara, i blandingsforhold 1:1, ledetall 1,0.

Det ble også benyttet biologisk bekjempelse, ved å sette ut nyttedyret rovmidd (*Amblyseius cucumeris*), produsert av Syngenta. Rovmidd ble satt ut åtte ganger på friland og i tunell, og ni ganger i plasthus. Denne forebyggende behandlingen ble benyttet gjennom hele forsøksperioden. Det ble satt ut flest nyttedyr i plasthus, på grunn av større behov her, fordi plantene vokste mer. I starten av august etablerte bladlus seg på plantene. Dette ble først forsøkt å dempe med en grønnsåpe- og oljeblanding. Denne behandlingen ble gjennomført to ganger i plasthuset og en i tunell. Mot midten av august økte problemet med bladlus, spesielt i plasthus, men også noe i tunell. Etersom såpe- og oljeblandinga ikke var tilfredsstillende for å dempe bladlusangrepet ble det sprøytet en gang i plasthus med Calypso®, produsert av Bayer Garden. Denne behandlingen ble gjennomført siste halvdel av august med dosering 20 ml pr. 100 L. På friland var ikke bladlus et utpreget problem.

2.3 Temperaturklima

De forskjellige temperaturklimaene ble oppnådd ved å plassere plantene i tre ulike dyrkingssystem: Plasthus, tunell og friland. Temperaturene var dermed ikke kontrollerte faktorer. Fra tidligere undersøkelser er det kjent at en ved disse dyrkingssystemene oppnår ulike dyrkingstemperaturer (Sønsteby & Heide 2008). Plasthus har oppnådd høyest temperatur, etterfulgt av tunell og kaldest på friland.

Plasthuset (Figur 10a) var produsert av Filclair, med plast-type 'Tricclair folie klar'. Lufting foregikk ved å ha dørene åpne og ved automatisk opprulling av veggene på dagtid ved høye temperaturer. Det var ønskelig å holde temperaturen i plasthuset rundt 20 °C. Det var begrenset hvor mye temperaturen kunne reduseres på varme dager i plasthuset. Dørene ble ofte ikke lukket på natta. For å unngå for høye temperaturer i plasthuset på ettermiddagen måtte dørene ha blitt lukket etter solnedgang, noe som ikke lot seg gjøre i praksis.

Tunellen (40 m x 8 m x 4 m) var produsert av Haygrove, mens plasten som dekket taket var produsert av Horticulture sunmaster, og hadde en tykkelse på 140 my. Tunellen lå langs en svakt hellende bakke, og humleplantene var plassert nederst (Figur 10b). Lenger oppe i tunellen var det andre kulturer. Gjennom hele sesongen var tunellen åpen i endene og uten skjørt langs sidene for å oppnå god luftbevegelse. Dette skulle bidra til å redusere fuktige vekstforhold for sopp.

I tunellen var det installert tåkespredere for å forebygge mot meldugg. Aktiviteten av disse var justert i forhold til forandringer i temperatur og luftfuktighet. Dersom temperaturen oversteg 20-22 °C, gikk tåka på. Tåka startet også dersom luftfuktigheten gikk under 40-50 %, og slo seg av dersom luftfuktigheten oversteg 80-90 %, uansett temperatur.

På friland sto plantene i le fra sør-vest vendt vind (Figur 10c). Likevel var plantene her mer utsatt for vind enn plantene ved de andre dyrkingssystemene. Plantene på friland fikk mer direkte sollys, ettersom det ikke var plast her som reduserte innstråling.



a) Plasthus



b) Tunell



c) Friland

Figur 10: Tre ulike dyrkingssystemer, a) plasthus, b) tunell og c) friland, for å oppnå forskjellige temperaturklima. Foto: Therese Mæland

2.4 Registreringer

2.4.1 Temperaturregistreringer

Temperaturloggingen startet etter at plantene var plassert ved ulike temperaturklima 10. juni. Temperaturloggere (ThermaData™ Logger TDF/TDC) ble benyttet for å logge temperaturen i plasthus og i tunell. Loggerne registrerte temperaturdata hvert 30 minutt. Temperaturobservasjonene for friland ble hentet fra Landbruksmeteorologisk tjeneste (LMT 2016) sin målestasjon, som var lokalisert ca. 200 m fra plantene på friland.

2.4.2 Planteregistreringer

Det ble gjennomført ukentlige registreringer fra 29. juni til starten av september. Da planteregistreringene startet hadde plantene stått ved ulike temperaturer i 20 dager. Registreringene omfattet antall nodier og utviklingsstadium. Nodier ble definert som vekstpunkt med fullstendig utviklet bladanlegg, og ble talt fra jordoverflaten og oppover. For utvikling ble det registrert tidspunkt for blomstring på sideskudd, blomstring i topp og konglesetting. Blomstring på sideskudd og konglesetting ble registrert dersom minimum en blomst eller konge forekom på planten. Blomstring ble definert ved at arr fra minst en knopp var synlig. Blomsten ble definert som konge ved at dekkskjellene var lenger enn arrene fra blomsten.

Konglene ble høstet 7., 9., og 12.-september. Det ble høstet et gjentak fra hvert dyrkingssystem de tre ulike høstedataene. Konglene ble sortert pr. pante og lagt i papirposer. Friskvekt og tørrvekt ble registrert. Tørrvekt ble målt etter tørking ved 50 °C i 1-3 dager i Dörrex tørkeskap (Stöckli Tørkeapparater).

Ved høsting ble det registrert lengde av seks sideskudd fra de tre første nodiene fra 100 cm og oppover. Det ble også gjort visuelle registreringer av forekomst av bladlus og humlebladskimmel. Bladlus ble vurdert som omfattende/ikke omfattende, mens humlebladskimmel ble registrert dersom 20 % av konglene hadde brune kongler.

2.5 Statistiske analyser

Alle statistiske analyser ble gjennomført i SAS Statistical Analysis Software Version 9.4. Statistisk signifikansnivå ble satt til $p < 0,05$. Det ble benyttet et gjennomsnitt for hvert klon pr. gjentak i hver behandling, dersom ikke annet er oppgitt. I analyser med temperatur ble det benyttet gjennomsnittstemperatur pr. dag fra registreringstart 29. juni. Varmesum selve registreringsdatoen ble medregnet i varmesum for neste registrering, da registreringer ble gjennomført tidlig på dagen. Ved denne datoen hadde plantene vært utsatt for ulike temperaturer i 19 dager. For analyser av blomstring og avling ble det kun benyttet planter som nådde generativ utvikling.

2.5.1 Analyse av sideskuddlengde og avling

For analyse av sideskuddlengde og avling ble det brukt prosedyren MIXED. Klassevariablene var gjentak, behandling og klon. Gjentak ble satt som tilfeldig variabel. Tukeys-test ble benyttet for å undersøke signifikante forskjeller mellom gjennomsnittsverdiene for sideskudd og avling. Virkningen av temperaturklime og klon på sideskuddlengde og avling ble testet etter følgende blandet modell:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + c_{k(i)} + \alpha_i\beta_j + \varepsilon_{ij}$$

y_{ij} = respons i sideskuddlengde/avling

μ = totalt gjennomsnitt

α_i = effekt av temperaturklime i

β_j = effekt av klon j

$c_{k(i)}$ = tilfeldig effekt av gjentak innen behandling

$\alpha_i\beta_j$ = effekt av samspill mellom behandling og klon

ε_{ij} = feilleddet $N(0, \sigma^2)$

$i = 1-3$

$j = 1-6$

2.5.2 Analyse av sammenheng mellom nodieutvikling og temperatur pr. uke

Prosedyren 'General linear model' (GLM) ble benyttet for å undersøke ukentlig utvikling i antall nodier som funksjon av gjennomsnittstemperatur og morfologisk utviklingsstadium. Ukentlig økning i nodier ble definert som avhengig variabel. Det var en uke ekstra med observasjoner for plasthus. Data ble tilpasset et 'counter fit plot' med isolinjer som funksjon av hvor mange nodier de ulike klonene innenfor gjentakene hadde ved starten av uka, og gjennomsnittstemperaturen de var utsatt for den foregående uka.

2.5.3 Analyse av daglig fenologisk utviklingshastighet mot temperatur

Daglig fenologisk utviklingshastighet mot første blomst ble undersøkt ved en GLM prosedyre for å finne regresjon mellom utviklingshastighet og gjennomsnittstemperatur til første blomst. Dette ble gjort for hver plante pr. klon for hvert dyrkingssystem. Videre ble prosedyren 'Graphic samples output gallery' (GPLOT) benyttet for å identifisere datasettet med plotvariablene.

2.5.4 Analyse av antall nodier ved blomstring

For analyse av antall nodier ved blomstring pr. klon for hvert temperaturklima ble det kjørt en variansanalyse med prosedyren GLM. Signifikant ulikhet ble testet ved 'Duncans multiple range test'.

2.5.5 Analyse av avling som funksjon av klon og første blomstring

For analyse av avling som funksjon av klon og første blomstring ble prosedyren GLM benyttet. Videre ble det data sortert i et GPLOT for å identifisere datasettet med plotvariablene.

3 Resultater

3.1 Temperatur og luftfuktighet

Generelt var det høyest temperatur i plasthus, og størst forskjell i temperatur mellom plasthus og de andre to dyrkingssystemene (Tabell 2; Figur 11). Det var mindre forskjeller mellom friland og tunell.

Tabell 2: Forskjell i temperatur og luftfuktighet mellom temperaturklima fra 10.6-12.9, 2015

Temperaturklima	Sum døgngader	°C			%
		Gj. snitt. temp.	Gj.snitt maks. temp.	Gj. snitt. min. temp.	Gj. snitt relativ luftfuktighet
Plasthus	1808	19,0	29,5	10,6	63,0
Tunell	1383	14,6	21,3	9,2	71,1
Friland	1328	14,0	19,5	9,0	71,6

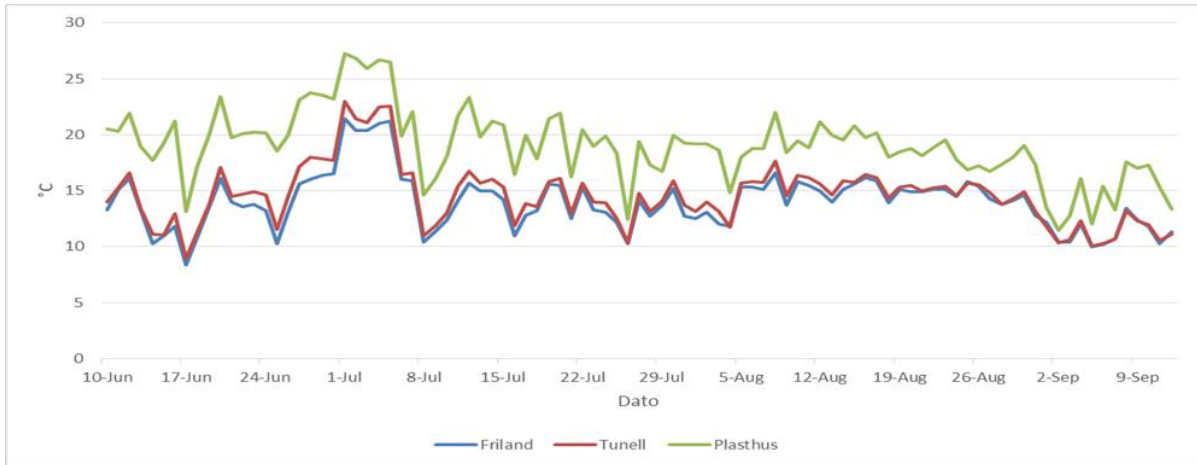
Det var høyest gjennomsnittstemperatur i plasthus, 37 % høyere enn friland og 32 % høyere enn tunell (Figur 11a). Mellom tunell og friland var forskjellen lav (4 %).

Maksimumstemperaturen varierte mest mellom dyrkingssystemene. Den var høyest i plasthus, i snitt 53 % høyere enn friland og 40 % høyere enn tunell (Figur 11b). Mellom tunell og friland var forskjellen 9 %.

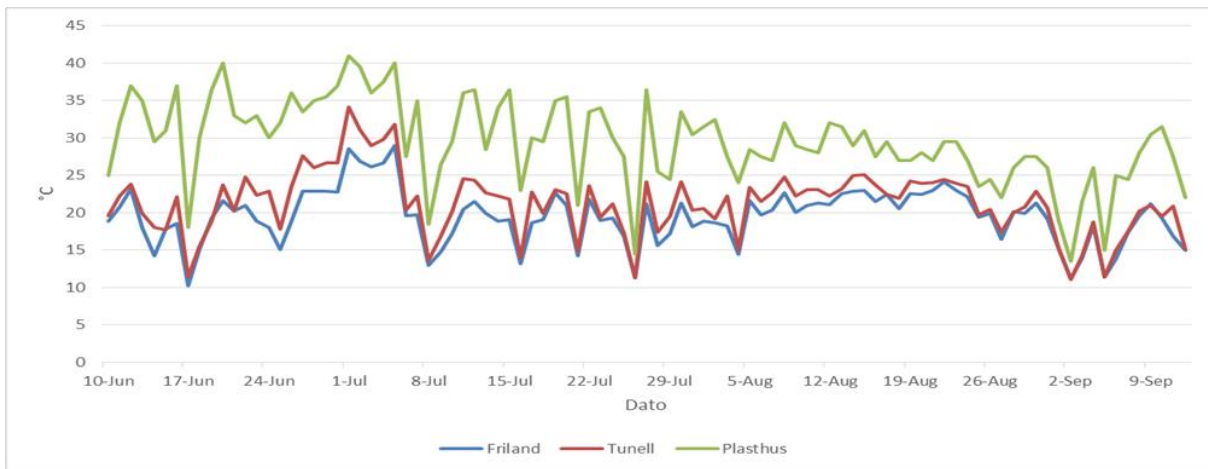
Minimumstemperaturen var ca. 20 % høyere i plasthus enn på friland og i tunell (Figur 11c). Mellom tunell og friland var forskjellen minimal (1,3 %).

Det var størst svingninger i plasthus fra gjennomsnittstemperaturen til maksimumstemperaturen (55 %) og minimumstemperaturen (44 %). I tunell var det mindre svingninger, 46 % til maksimumstemperaturen og 38 % til minimumstemperaturen (38 %). Temperaturen var mest stabil på friland. Her var maksimumstemperaturen i snitt 40 % høyere enn gjennomsnittstemperaturen, mens minimumstemperaturen var 35 % lavere.

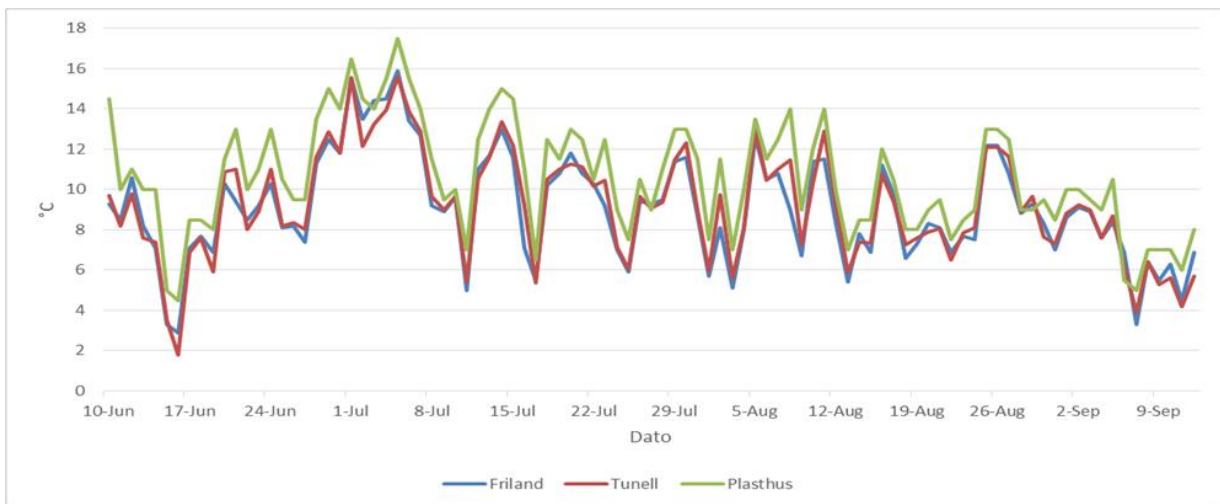
Plasthus hadde betydelig høyere sum av døgngader gjennom forsøksperioden sammenlignet med tunell og friland (Tabell 2). Med utgangspunkt i friland var sum av døgngader i 4 % høyere i tunell, og 36 % høyere i plasthus.



a.) Gjennomsnittstemperatur pr. dag



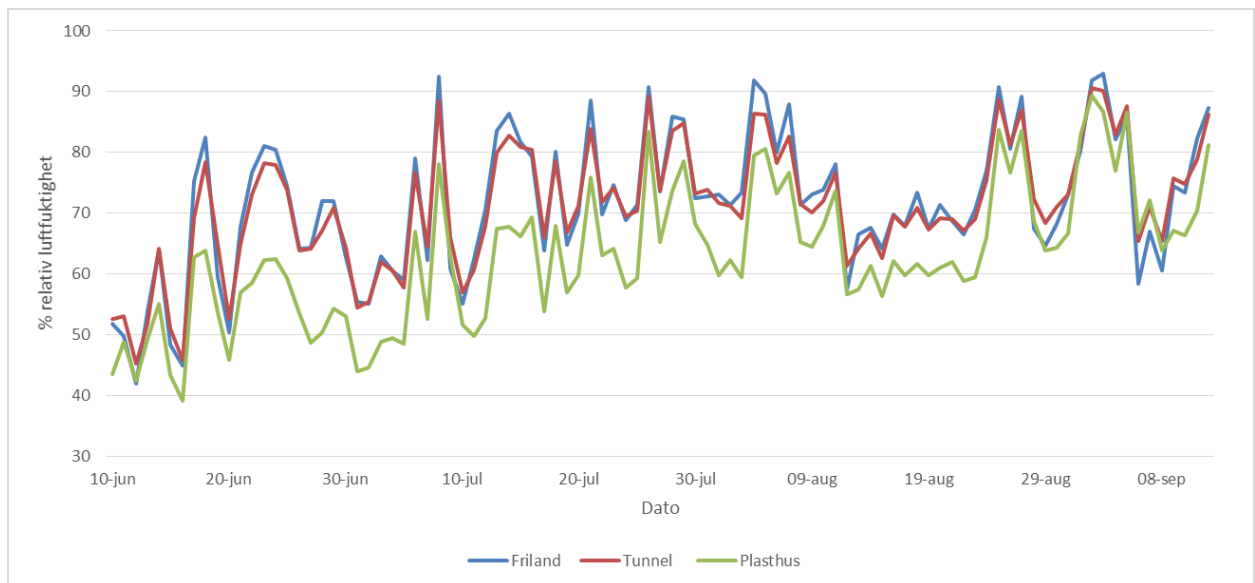
b.) Maksimumstemperatur pr. dag



c.) Minimumstemperatur pr. dag

Figur 11: Daglig gjennomsnittstemperatur (a), maksimumstemperatur (b), minimumstemperatur (c) for tre ulike temperaturklima. Fra 10.6 til 12.9, 2015

Luftfuktigheten på friland og i tunell var svært lik, hvor luftfuktigheten i tunellen var 1 % lavere i snitt (Figur 12). I plasthus var luftfuktigheten i snitt 13 % under friland.



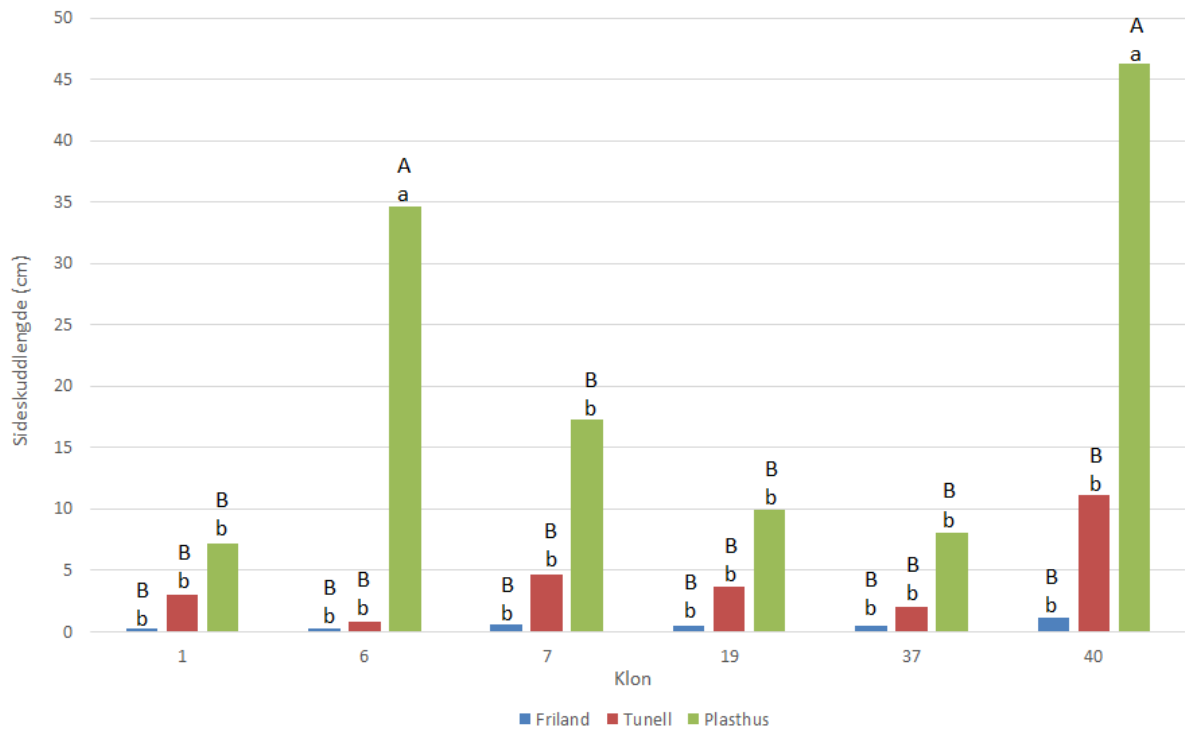
Figur 12: Daglig relativ luftfuktighet (%) for tre ulike temperaturklime. Fra 10.6-12.9 2015

3.2 Utvikling og lengde av sideskudd

I dette forsøket dannet planter i plasthus og tunell signifikant flere sideskudd enn på friland ($p < 0,05$). På friland var sideskuddene korte og tilfeldige mellom planter. Det var signifikant forskjell i sideskuddlengdene ved alle dyrkingssystem ($p < 0,05$), hvor klonene i plasthus utviklet signifikant lengst sideskudd, etterfulgt av tunell, og kortest var sideskuddene på friland.

Lengde av sideskudd økte generelt ved økning i temperatur for alle seks kloner (Figur 13). Det var sterkt signifikant samspill mellom sideskuddlengde og temperaturklima, sideskuddlengde og klon, og samspillet mellom behandling og klon. De ulike klonene responderte ulikt innen de tre temperaturklimaene. Det var signifikant forskjell mellom klonene i plasthus. Klon 40 og klon 6 var signifikant like og hadde lengst sideskuddlengde. Klonene 1, 7, 19 og 37 hadde kortest sideskudd, og var signifikant like. Det var ikke signifikant sikker forskjell i sideskuddlengde mellom kloner i tunell og på friland.

Innen klonene førte ulike temperaturklima til signifikant ulik lengde på sideskudd for klon 6 og klon 40, hvor plantene i plasthus hadde signifikant lengst sideskudd. For alle dyrkingssystem hadde klon 40 lengst gjennomsnittlig sideskuddlengde.



Figur 13: Gjennomsnittlig sideskuddlengde (cm) pr. plante for klon og temperaturklime. Ulike bokstaver over søylene angir om det er signifikante forskjeller i forhold til temperaturklime. Små bokstaver = innen klon; store bokstaver = mellom kloner innen samme temperaturklime. Standardavvik alle søyler: $\pm 3,6$. Tukeys-test ($p < 0,05$)

3.3 Sammenheng mellom nodieutvikling og temperatur pr. uke

Både temperatur og utviklingsstadium, målt i antall nodier utviklet, hadde signifikant effekt på ukentlig økning i nodier for alle kloner ($p < 0,05$) (Figur 14).

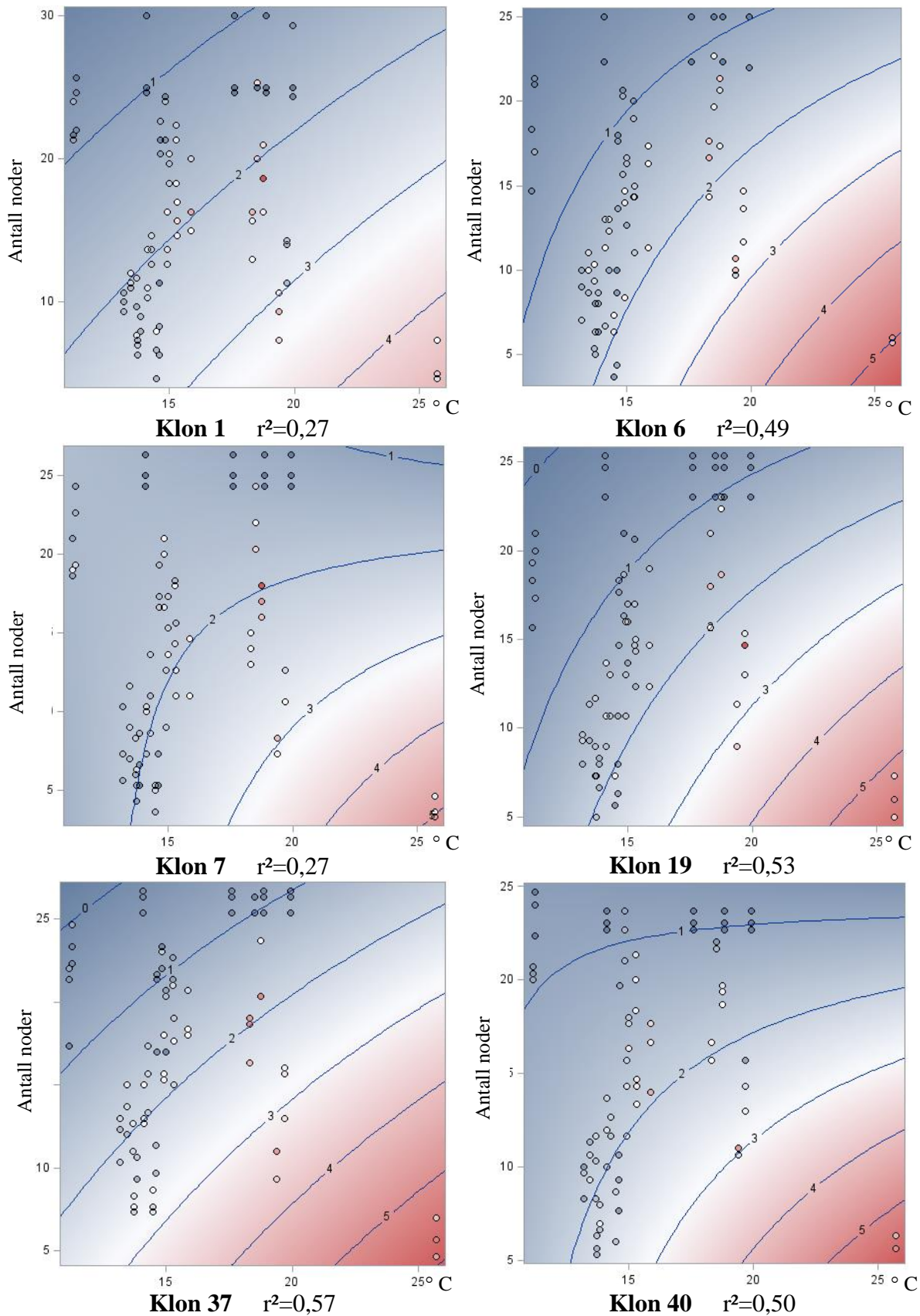
Des lavere antall nodier plantene hadde ved ukestart, desto flere nodier utviklet plantene pr. uke. Generelt for alle kloner var økning i antall nodier pr. uke høyest tidlig i forsøksperioden, da de hadde dannet færre nodier.

Ved økende temperatur utviklet alle kloner flere nodier pr. uke. Dersom plantene var ved samme utviklingsstadium, dannet de ved økende temperatur flere nodier pr. uke. Ved et høyt antall nodier (> 20) var det mindre effekt av temperatur for økning i antall nodier pr. uke.

Alle kloner dannet det høyeste antall nodier den første uka i plasthus. Ved starten av denne uka hadde plantene her få nodier (< 7). Samtidig hadde denne uka den høyeste temperaturen gjennom registreringsperioden. Dette førte til at plantene utviklet et høyt antall nodier denne uka, over fire i snitt.

Det var varierende grad av samspillseffekt mellom temperatur og nodiestadium. For klon 7 og klon 40 var det statistisk sikkert samspill ($p < 0,05$). Dette innebærer at sammenhengen av både temperatur og utviklingsstadium hadde betydning for hvor mange nodier plantene satte pr. uke. Dette kommer frem ved utflating av isolinjene, strekene i grafene som viser antall nodier utviklet pr. uke. Når isolinjene flater ut ved høyt antall nodier utviklet, tyder dette på at temperaturen får gradvis mindre virkning etter hvert som nodiestadiet øket. Dette tydet på at planten var ferdig med vegetativ vekst. Klon 6 og klon 19 hadde antydning til samspillseffekt mellom temperatur og nodiestadium ($p < 0,06$). For klon 1 og klon 37 var det ikke signifikant samspill mellom variablene ($p > 0,3$).

For de fleste kloner var det en krumlinjet effekt av nodieutvikling og temperatur pr. uke (Figur 14). Kryssproduktet av samspillet mellom temperatur og nodieutvikling pr. uke får frem krumning i isolinene i modellen. Dermed har Figur 14 vært tilstrekkelig for å få frem hovedeffekten av temperatur og utvikling som lineære ledd.



Figur 14: Sammenheng mellom nodieutvikling og temperatur pr. uke. Punktene rundt isolinjene forteller hvor mange noder plantene satte pr. uke, som funksjon av nodiestadium ved ukestart og gjennomsnittstemperatur påfølgende uke. $n = 84$ pr. klon

3.4 Oversikt over planter med kongle og blomst

I dette forsøket satte alle plantene i plasthus kongler, 83 % av plantene i tunell og 57 % av plantene på friland (Tabell 3). Alle plantene i forsøket av klon 1 satte kongle. Klon 37 og klon 40 hadde også god konglesetting i alle temperaturklima. Klon 6 og klon 19 hadde lavest konglesetting totalt. For klon 7 var det to planter i tunell og en plante på friland som satte blomst som ikke utviklet seg videre til kongle.

Tabell 3: Prosent planter med blomst og kongle av totalt 9 mulige planter pr. klon innen hvert temperaturklima. Planter som ikke utviklet seg fra blomst til kongle er oppgitt i parentes

Klon	Plasthus	Tunell	Friland
1	100 %	100 %	100 %
6	100 %	67 %	22 %
7	100 %	67% (88%)	44% (56%)
19	100 %	67 %	22 %
37	100 %	100 %	78 %
40	100 %	100 %	78 %
Gj. snitt behandling	100 %	83 %	57 %

Totalt hadde klon 40 hadde flest planter som utviklet blomst i toppskuddet, etterfulgt av klon 1 og klon 37 (Tabell 4). For klon 7 var det færrest planter som utviklet blomst i toppskuddet.

Tabell 4: Prosent planter blomstret i toppskuddet av totalt 9 mulige planter pr. klon innen hver temperaturklima. Må kommentere denne i teksten

Klon	Plasthus	Tunell	Friland
1	100 %	78 %	67 %
6	100 %	33 %	11 %
7	100 %	11 %	0 %
19	100 %	33 %	11 %
37	100 %	78 %	67 %
40	100 %	100 %	67 %
Sum behandling	100 %	56 %	37 %

3.5 Daglig fenologisk utvikling mot temperatur

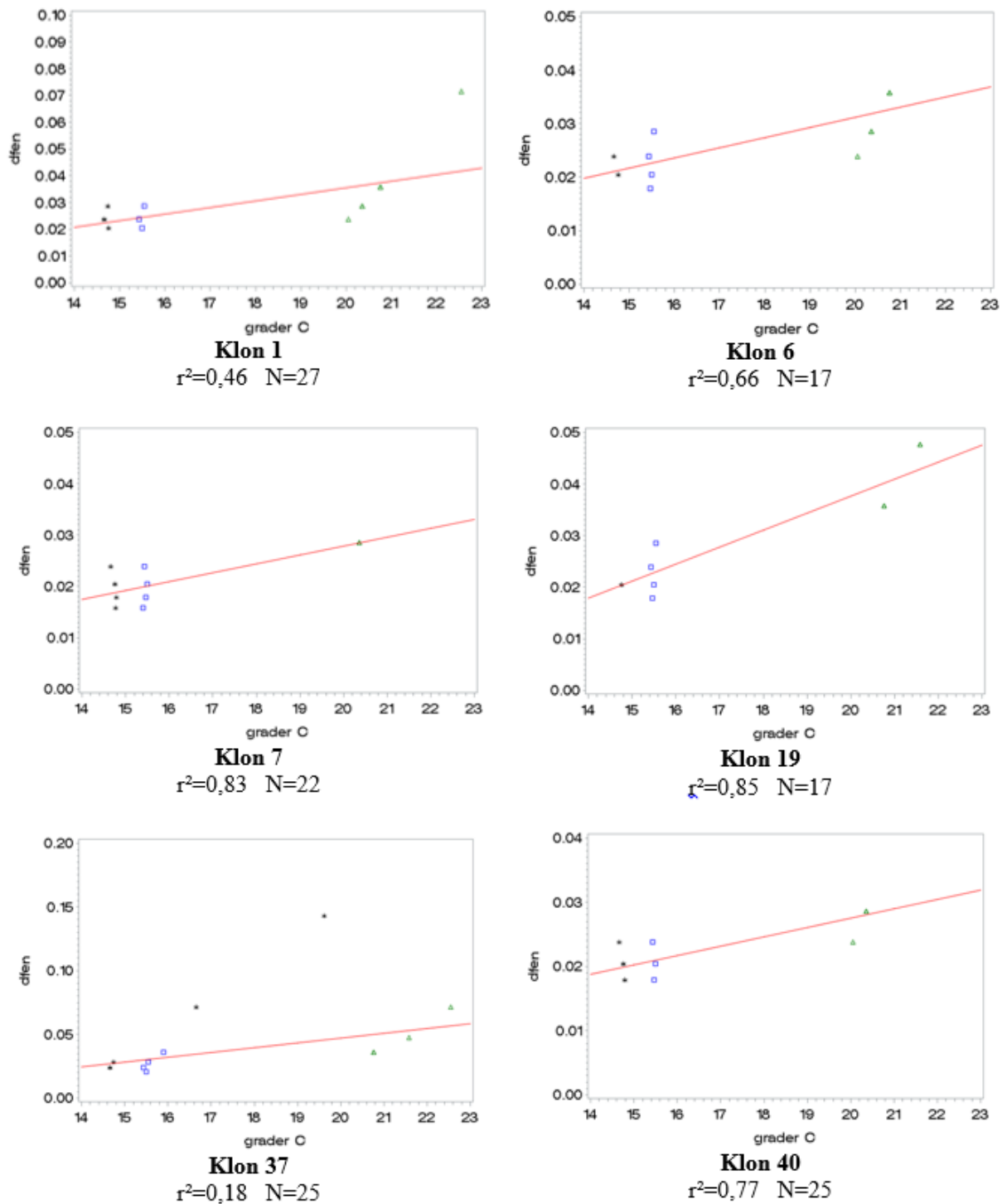
Sammenheng mellom fenologisk utviklingshastighet og temperatur ble undersøkt for alle kloner for alle temperaturklima (Figur 15). Daglig fenologisk utviklingshastighet (Dfen) ble målt invers av antall dager fra registreringsstart til første blomst. Dette innebærer at $1/Dfen =$ antall dager fra registreringstart til første blomst.

De fleste kloner på friland og tunell blomstret ved en gjennomsnittstemperatur på 15 °C, mens planter i plasthus hadde hatt om lag 20 °C ved blomstring. Tabell 5 forklarer antall dager til blomstring for disse temperaturene, utregnet ved regresjonsfunksjonen for daglig fenologisk utvikling fra forsøksstart til første blomst. Dette gir et gjennomsnittlig uttrykk for alle observasjoner. Ved å øke temperaturen med 5 °C var temperaturresponsen relativt lik for alle kloner, hvor temperaturøkningen framskyndet blomstringen for de fleste klon med to uker. Klon 19 hadde tydeligst økning i daglig fenologisk utviklingshastighet ved økt temperatur, med hele tre uker.

Klon 37 var tidligst ute med første blomst under både 15 °C og 20 °C. Enkeltpanter på friland kom derimot raskt i fenologisk utvikling til tross for lav temperatur. Klon 7 og 40 brukte lengre tid på å sette første blomst.

Tabell 5: Antall dager til blomstring fra registreringstart 29. juni ved ulike temperaturer.

Klon	Antall dager til blomstring		Antall dager
	15°C	20°C	Respons på temperaturokning
1	43	28	15
6	46	32	14
7	52	36	16
19	47	27	20
37	35	21	14
40	49	36	13



Figur 15: Fenologisk utviklingshastighet pr. klon frem til første blomst. Varmesum regnet fra registreringstart (29. juni) start t.o.m. dagen før registrering langs x-aksen. Dfen = invers antall dager fra forsøksstart til første blomst. Grønn trekant = plasthus, blå firkant = tunell, svart stjerne = friland. NB: Ulike intervaller langs y-aksene.

3.6 Antall nodier ved første blomstring

Det var signifikant forskjell i antall nodier utviklet ved første blomstring mellom alle temperaturklimaene (Tabell 6). Antall nodier utviklet ved første blomstring var høyest i plasthus, etterfulgt av tunell og lavest på friland.

Tabell 6: Gjennomsnittlig antall nodier ved blomstring ved ulike temperaturklima. Ulike bokstaver angir signifikante forskjeller mellom behandlinger ($p < 0,05$)

Temperatur behandling	Gj. snitt antall nodier	Duncans test	n
Plasthus	21,3	a	54
Tunell	17,8	b	47
Friland	16,9	c	32

Uavhengig av temperaturklima hadde klon 7 og klon 40 høyest gjennomsnittlig antall nodier ved første blomstring, og var signifikant like (Tabell 7). Klonene 1, 19 og 37 var signifikant like og hadde lavest antall nodier ved blomstring.

Tabell 7: Gjennomsnittlig antall nodier ved blomstring for alle kloner. Ulike bokstaver angir signifikante forskjeller mellom klonene ($p < 0,05$)

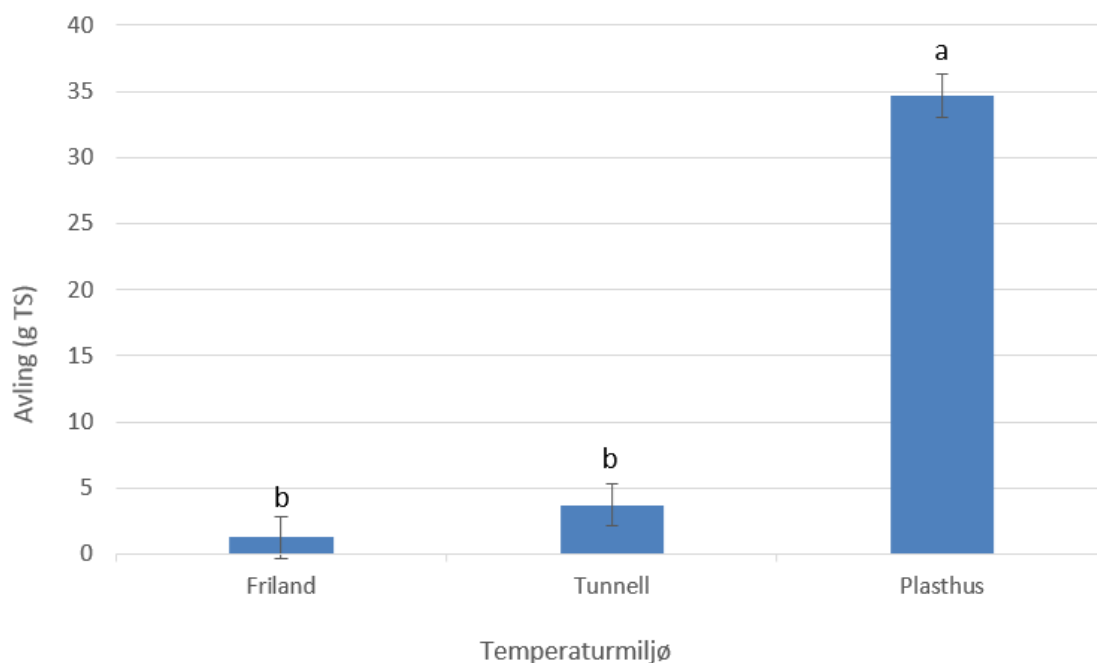
Klon	Gj. snitt antall nodier	Duncans test	n
40	20,3	a	25
7	19,7	ab	22
6	19,1	bc	17
19	18,5	cd	17
37	18,3	cd	25
1	18,0	d	27

3.7 Avling

3.7.1 Effekt av temperatur på konglesetting og avling

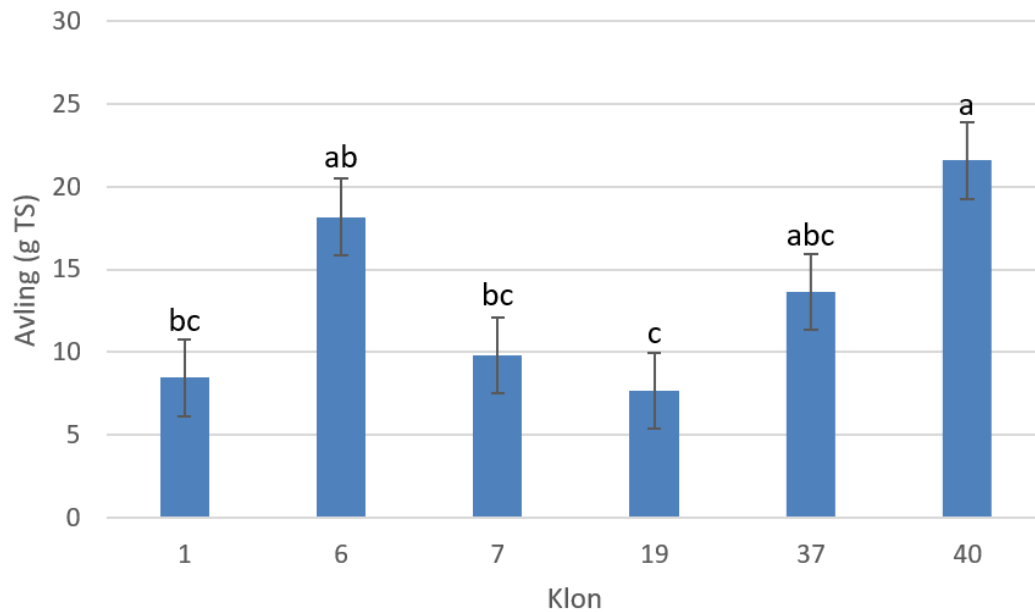
I dette forsøket var det signifikant flere planter som satte kongler i plasthus og tunell sammenlignet med friland ($p < 0,05$). På friland var konglesettinga i dette forsøket lav og tilfeldig mellom plantene.

Avlingen var signifikant høyere i plasthus sammenlignet med i tunell og på friland (Figur 16). Mellom tunell og friland var det ikke signifikant forskjell i avling.



Figur 16: Gjennomsnittlig avling pr. plante (g TS) for hvert temperaturklima. Ulike bokstaver angir signifikante forskjeller mellom kloner. Tukeys-test ($p < 0,05$)

3.7.2 Avling pr. klon



Figur 17: Gjennomsnittlig avling pr. klon (g TS). Ulike bokstaver angir signifikante forskjeller mellom kloner. Tukeys-test ($p < 0,05$)

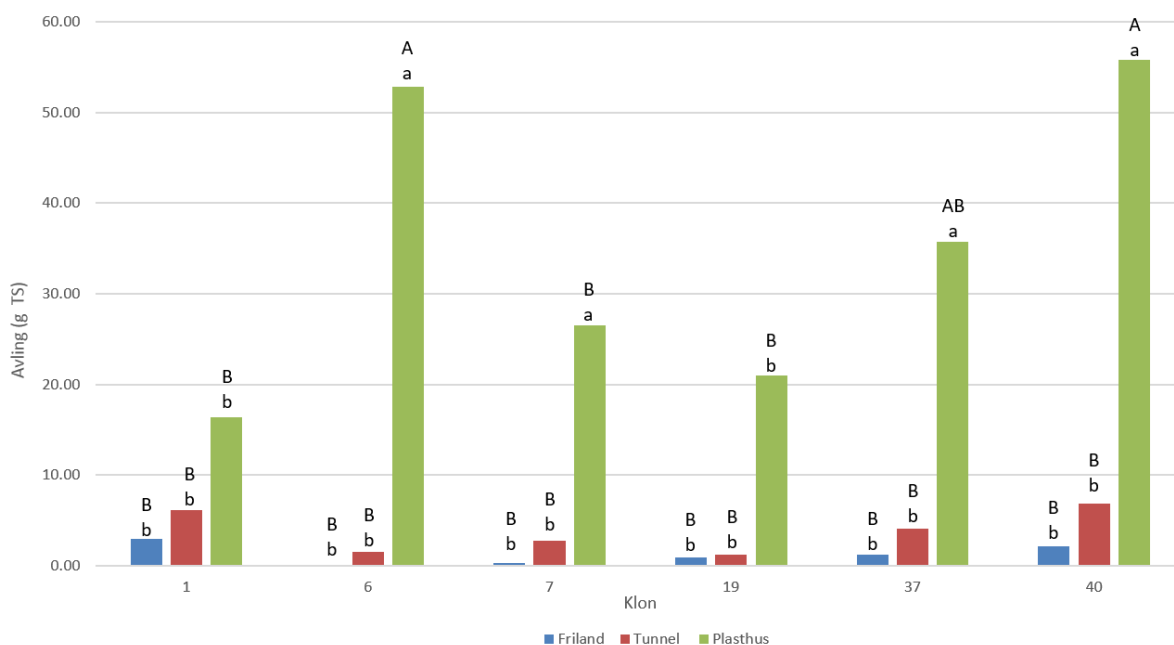
I dette forsøket var det signifikant forskjell mellom avling for de ulike klonene (Figur 17).

Klonene 6 og klon 40 hadde signifikant høyest avling, i tillegg til klon 37, som var signifikant lik alle andre kloner (Figur 17).

3.7.3 Effekt av temperaturklima og klon på avling

Det var signifikant effekt av samspillet mellom behandling og klon ($p < 0,05$). De ulike klonene presterte ulikt under de tre temperaturklimatekene (Figur 18). I plasthus hadde klon 6 og klon 40 signifikant høyest avling, hvor klon 37 var også signifikant lik disse, samtidig som den også var signifikant lik klon 1, 7 og 19 som ga lavere avling.

Innenfor de ulike klonene var det statistisk signifikant effekt av temperaturklimatekene for klon 6, 7, 37 og 40. Forskjellen var mellom plasthus og de andre to dyrkingssystemene. For klon 1 og klon 19 var det ikke signifikant forskjell i avling mellom temperaturklimatekene.



Figur 18: Gjennomsnittlig avling (g TS) pr. plante for klon og temperaturklimatekene. Ulike bokstaver over søylene angir om det er signifikante forskjeller i forhold til temperaturklimatekene. Små bokstaver = innen klon; store bokstaver = mellom klon innen samme temperaturklimatekene. Standardavvik alle søylene: $\pm 5,49$. Tukeys-test ($p < 0,05$)

3.8 Avling pr. klon sett i sammenheng med første blomst

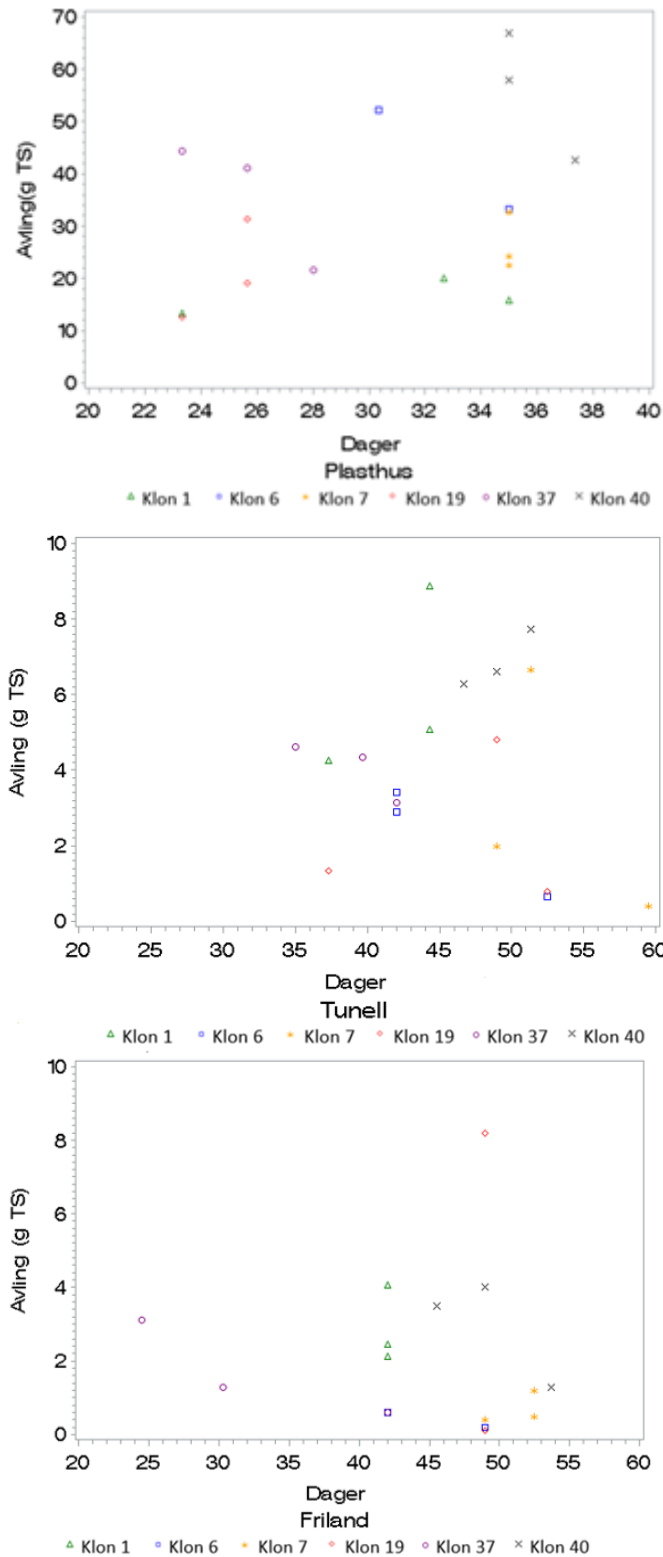
For plantene som satte kongle (Tabell 3), ble sammenheng mellom dato for første blomstring og avling undersøkt (Figur 19). Ettersom alle plantene i plasthus satte kongler er denne analysen fullstendig. De to andre dyrkingssystemene hadde lavere observasjonsgrunnlag, og er derfor mer usikre.

Dato for første blomstring ble registrert etter antall dager fra registreringsstart 29. juni. Oversikt over dag etter registreringsstart korrelert med faktisk dato er listet i Tabell 8.

Tabell 8: Dag nr. i registreringsperiode korrelert med faktisk dato.

Dag nr. i forsøk	1	10	20	30	40	50	60	70
Dato	29. juni	8. juli	18. juli	28. juli	7. aug.	17. aug.	27. aug.	6. sept.

Under alle temperaturklime satte klon 40 kongler seint, men hadde relativt høyt avlingsnivå. Klon 37 var tidligst ute med første blomst i alle temperaturklime, og hadde middels avling. På friland hadde et gjentak av klon 37 veldig tidlig blomstring. For de andre klonene var det ikke like tydelig sammenheng mellom tid for første blomstring og avling.



Figur 19: Avling pr. klon i sammenheng med første blomst for hver temperaturklima. Kun benyttet planter som satte blomst (Tabell 3). Dager regner etter registreringsstart 29. juni

3.9 Forekomst av bladlus og sykdom

Plantene i plasthus var mest utsatt for både bladlus og humlebladskimmel (Tabell 9 og Tabell 10). I tunell var det større forekomst av bladlus enn på friland, mens det var relativt lik forekomst av sykdom ved disse to dyrkingssystemene. Klon 40 var mest motstandsdyktig mot bladlus, mens klon 37 hadde størst angrep, etterfulgt av klon 19 (Tabell 9). For sykdom var klon 6 mest utsatt, etterfulgt av klon 40, klon 37 og klon 7, mens klon 1 og klon 19 hadde lavest forekomst av sykdom (Tabell 10).

Tabell 9: Prosentvis forekomst av bladlus for klon og temperaturklime. n=9 pr. klon innen hvert temperaturklime

Klon	Plasthus	Tunell	Friland
1	56	11	11
6	78	22	0
7	56	56	0
19	89	44	0
37	78	44	22
40	0	0	11
Gjennomsitt	59	30	7

Tabell 10: Prosentvis forekomst av humlebladskimmel pr. klon over temperaturklime. Prosenten er regnet av planter som satte kongler (Tabell 3)

Klon	Plasthus	Tunell	Friland
1	22	0	0
6	100	0	0
7	56	0	0
19	33	0	0
37	33	11	29
40	89	0	0
Gjennomsitt	56	2	6

4 Diskusjon

4.1 Virkning av dyrkingssystem temperatur og luftfuktighet

De ulike temperaturklimaene oppnådd i plasthus, tunell og på friland i dette forsøket ga signifikante forskjeller i vekst og utvikling hos de seks utvalgte klonene av norsk humle. I tillegg til temperaturforskjeller, kan andre faktorer mellom dyrkingssystemene ha spilt inn, som vind, regn og innstråling.

Det ble oppnådd størst temperaturforskjell mellom plasthus og de andre to dyrkingssystemene. Temperaturen kunne i størst grad reguleres i plasthus, ved å kontrollere lufting. Under kjølige dager ble veggene langs sidene rullet ned, og to store dører i hver ende ble stengt. Dersom det var høy innstråling, økte temperaturen betraktelig i plasthus, selv under kjølige dager. Det var likevel utfordrende under varme dager å begrense oppvarmingen i plasthus, og noen dager overskred temperaturen humlens maksimumstemperatur for vekst, som hevdes å være 35 °C (Rybáček 2012).

Værforholdene under forsøksperioden bidro trolig til mindre temperaturforskjeller mellom tunell og friland, enn hva en kunne ha forventet ved en varmere sommer med høyere innstråling, da dette er sentralt for å øke temperaturen i tunell (Døving et al. 2011).

Vekstsesongen 2015 var relativt kald og våt (Hole et al. 2015). På Apelsvoll var gjennomsnitts-temperaturen i juni 12,7 °C, en grad under normalen. I juli var temperaturen lik normalen (14,8 °C), men nedbørsmengden var totalt 116,4 mm, 115 % over normalen (Jensen 2015). Høy nedbørsmengde medfører ofte overskyet vær, som igjen gir lavere innstråling.

Den høye luftfuktigheten på friland og i tunell kan forklares ved den høye nedbørsmengden gjennom vekstsesongen. Samtidig gir høyere temperaturer lavere luftfuktighet ved samme vanninnhold i luften (Lambers et al. 1998), hvilket forklarer hvorfor luftfuktigheten var lavere i plasthus.

4.2 Virkning av temperaturklime på morfologisk utvikling

Plantene i plasthus hadde mest vekst, etterfulgt av plantene i tunell, og minst vekst hadde plantene på friland. De metabolske prosessene i planter er temperaturavhengige, og dette er hovedårsaken til at vekst varierer med temperatur (Criddle et al. 1996). Plantenes utvikling i dette forsøket tydet på at temperaturen i plasthus var den mest optimale for plantenes metabolske aktivitet. Når de biokjemiske prosessene i plantene går saktere, reduseres veksthastigheten.

I dette forsøket kan forskjellene i vekst mellom friland og tunell muligens forklares ved variasjon i maksimumstemperaturen, ettersom denne temperaturmålingen varierte mest mellom disse dyrkingssystemene. Tilsvarende temperaturresponser har blitt vist i forsøk med korn, hvor maksimumstemperaturen hadde større betydning enn minimumstemperaturen for å fremskynde vekst (Robertson 1968).

Sønsteby & Heide (2008) og Sønsteby et al. (2009) observerte også signifikante forskjeller i vekst ved dyrking av bringebær i de samme dyrkingssystemene, hvor plantene i plasthus utviklet lengre sideskudd og flere blomster etterfulgt av plantene i tunell, og minst vekst hadde plantene på friland.

Hieronimus (2012) hevdet at nyetablerte humleplanter benyttet den første vekstsesongen til å bygge opp rotmasse. For flerårige planter er allokering av fotosynteseprodukter en balanse av årets vekst og utvikling, samtidig som de må sikre nok lagringsreserver i røttene til overvintring og gjenvekst påfølgende år (Taiz & Zeiger 2010). Dersom vekstforholdene er begrenset, er en mulig strategi for flerårige planter å nedprioritere generativ utvikling en sesong, til fordel for å sikre overlevelse. Flere faktorer påvirker vekstforhold, blant annet vann, næringstilgang, lys og temperatur. Plantene på friland var utsatt for høy nedbørmengde gjennom forsøksperioden, og utvasking av næringsstoffer kan ha bidratt til å begrense veksten. Summen av de begrensede vekstforholdene førte til at plantene på friland og i tunell ikke hadde tilstrekkelig muligheter for både vekst, utvikling og oppbygging av rotmasse. En forklaring på at noen av plantene på friland og i tunell ikke gikk over til generativ utvikling, kan skyldes at «strategien» til disse plantene først og fremst var å fylle på rotlageret, som beskrevet av Hieronimus (2012).

4.2.1 Sideskudd

Humle har en typisk indeterminant vekst, som gjør at vekst av sideskudd tilpasses miljøforhold på dyrkingsstedet (Rybáček 2012). Forskjeller i plantearkitektur mellom dyrkingssystemene, tyder på at de forskjellige temperaturklimaene bidro til ulik vekst.

Forhold i plasthus lå til rette for både dannelse av, og lengdevekst av sideskudd. Plantene i plasthus og tunell dannet signifikant flere sideskudd enn på plantene på friland, men lengdeveksten av sideskuddene var signifikant ulik mellom alle dyrkingssystem. Det å utvikle sideskudd kan kreve andre betingelser enn lengdeveksten av de som allerede er (Shimizu-Sato & Mori 2001). Det var tilstrekkelig forskjell i vekstbetingelsene mellom plasthus og tunell til å påvirke signifikant forskjell i lengdevekst av sideskudd, selv om det ikke var signifikant forskjell i antall sideskudd som ble dannet. På friland ble det dannet signifikant færrest sideskudd, og disse var signifikant kortere enn sideskuddene i tunell og i plasthus.

Rybáček (2012) referer til Rybáček (1967) som hevdet at sideskudd med en lengde på 50-70 cm var det mest optimale for å oppnå høy avling. Samtidig fant Rybáček (1967) en negativ sammenheng mellom lengde av sideskudd, og antall forgreininger på sideskuddet. Dette innebærte at jo lengre sideskuddene var, desto mindre forgreinet de seg. Konglene settes på forgreiningene, og dermed er det ønskelig å ha en høy grad av forgreining på sideskuddene. Til tross for at korte sideskudd forgreinet seg mer, viste avlingen seg likevel å være begrenset på korte sideskudd. Dermed ble middels lange sideskudd, på 50-70 cm, funnet å være det mest optimale, og det er dermed ønskelig å oppnå en lengdevekst av sideskudd på nivå med dette i produksjon.

Utvikling av sideskudd avhenger av i hvor stor grad planten styres av apikal dominans (Glover 2014). Rybáček (2012) hevdet at apikal dominans hos humle hemmet bryting av hvilende knopper ved nodiene, til den apikale dominansen ble brutt eller forstyrret. Apikal dominans kan være en kvantitativ respons (Sachs 2005), hvilket den tilsynelatende er hos humle. Dette underbygges av Thomas & Schwabe (1970) som dokumenterte at flere sideskudd hos humle ble dannet samtidig som toppskuddet fortsatt hadde økt strekningsvekst. Denne utviklingen fant vi også i dette forsøket hos de seks klonene av norsk humle. I planter med svak apikal dominans, som tomat eller *Coleus*-arter, bryter sideskudd lengst fra toppskuddet først, og disse blir lengre enn sideskudd nærmere toppskuddet (Bernier et al. 1985). Dette er også den typiske vekstformen for sideskudd hos humle (Rybáček 2012).

Avstanden fra toppskuddet til sideskuddene kan svekke den apikale dominansen (Cline 1991). Ettersom plantene i tunell og på friland var lavere enn de i plasthus, kan kortere avstand fra sideskuddene til toppskuddet i tunell og på friland ha begrenset lengdeveksten av sideskudd her, sammenlignet med plasthus. Samtidig var plantene i tunell lengre enn plantene på friland, og dette kan ha gitt utslag i de signifikante forskjellene i sideskuddlengde mellom disse dyrkingssystemene.

Dersom toppskuddet blomstrer, og dermed avslutter lengdeveksten for hovedskuddet, kan den apikale dominansen svekkes ytterligere (Cline 1991). Da vil lengdevekst av sideskudd kunne ta til i større grad (Rybáček 2012). Flere planter i tunell og på friland kan ha hatt begrenset lengdevekst av sideskudd fordi toppskuddet ikke brøt.

Temperatur har en indirekte påvirkning på bryting av sideskudd, dersom avstand fra toppskuddet og bryting av toppskuddet har betydning for svekkelse av apikal dominans. Ved økte temperaturer øker veksthastigheten, og dermed tiden humle bruker på å øke avstanden fra toppskuddet til sideskudd, samt vekstavslutning av toppskuddet.

I tillegg til morfologisk utviklingsstadium, kan høyde av oppbindingssystemet påvirke bryting av apikal dominans. Humledyrkere beskriver ofte at utvikling og lengdevekst av sideskudd starter når humleranken har nådd toppen av klatretråden (Perrault 2010; Simmonds 2013). Dette underbygges av Dubbelden & Oosterbeek (1995) som fant en sammenheng mellom økning i antall sideskudd, des mindre hovedskuddet ble støttet opp. Utvikling av sideskudd bidro til at humlen kunne forankre seg bedre, og ble satt i gang når toppskuddet ikke lenger hadde noe å vokse opp langs. Dette gjenspeiler en slags forstyrrelse av toppskuddet, som kan svekke den apikale dominansen, som ble beskrevet av Rybáček (2012). Dette tyder på at jo lenger klatretråd plantene har til å vokse oppover, desto lengre vil den apikale dominansen kunne opprettholdes.

På steder med mindre optimale vekstvilkår, eller under sesonger med dårlig vekst, kan tiltak som tilrettelegger for sideskuddannelse, og lengdevekst av disse, være spesielt nyttig. Ulike kloner kan ha forskjellig form og forgreiningsmønster av sideskudd, som kan være typisk for klonen (Rybáček 2012), og det må undersøkes nærmere i hvor stor grad sideskuddlengde kan manipuleres i dyrking.

Dersom sideskuddlengde begrenses av apikal dominans, vil tilrettelegging av bryting hos toppskuddet kunne føre til at den apikale dominansen svekkes ved et tidligere morfologisk utviklingsstadium, og dermed gi grunnlag for lengre sideskuddvekst. Et lavt oppbindings-

system vil kanskje kunne fremprovosere vekststans av hovedskuddet ved et tidligere morfologisk utviklingsstadium, ved at toppskuddet ikke lengre har noe å klatre opp langs (Dubbelden & Oosterbeek 1995). Ytterligere undersøkelser må vurdere nærmere om høyde av oppbindingssystemet er av betydning for dannelse og lengdevekst av sideskudd, og hvordan bryting av apikal dominans ved et tidligere morfologisk utviklingsstadium eventuelt påvirker fertiliteten til sideskuddene.

Et lavere oppbindingssystem vil gi kortere planter (Simmonds 2013), som kan være begrensende for avling. Ved å påvirke internodiene gjennom nitrogen gjødsling og klima, kan et høyt antall nodier settes på en kortere humleranke (Eyck & Gehring 2015). Dersom internodiene blir for korte, og plantemassen blir for tett, vil dette kunne føre til skyggeforhold som kan begrense lysmengden på bladverket, og dermed redusere fotosynteseproduksjonen. Samtidig vil skyggefulle forhold, med dårligere lufting, gjøre at sykdommer og skadedyr trives bedre.

En teknikk som benyttes i humleproduksjon er å «legge ned» plantene, ved å folde toppskuddet over oppbindingstråden, etter hvert som veksten overskrider oppbindingssystemet (Neve 1991). Dette har vist å bidra til at strekningsveksten avsluttes, og dermed bidra til at sideskudd bryter.

Sideskudddannelse kan også fremmes ved topping av planter (Lyndon 1998). Det må undersøkes nærmere om sideskuddveksten i humle kan fremprovoseres ved topping, for å bryte apikal dominans. Et annet sideskudd vil kunne ta over som toppskudd, dersom den apikale dominansen er sterk. Topping av humleplanter vil trolig være et lite praktisk anvendelig tiltak, ettersom humleplantene blir svært høye.

Hormonpreparater kan også modifisere vekst (Davies 2012). Dette må undersøkes nærmere for humle, og vurderes i sammenheng med miljørisiko knyttet til hormonpreparater, samt fokuset på utfasing av disse preparatene i andre kulturer.

4.2.2 Nodieutvikling

Utflating av nodieutvikling pr. uke med økt morfologisk utviklingsstadium, tydet på at strekningsveksten avtok når plantene gikk over fra vegetativ til generativ fase. Dette var en forventet effekt, som gjenspeiler vanlig utviklingsmønster hos humle (Neve 1991).

Veksten hos noen av plantene i plasthus og på friland overskred oppbindingssystemet. Dette kan ha bidratt til å påvirke vekstavslutningen for disse plantene (Dubbelden & Oosterbeek 1995), og dermed hvor mange nodier plantene satt. På friland var oppbindingssystemet betydelig lavere og svakere enn ved de andre to dyrkingssystemene. Dette kan ha bidratt til vekstavslutning for de få plantene (ca. 10) som overskred oppbindingssystemet, og dermed bidratt til at disse utviklet færre nodier.

4.3 Virkning av temperaturklima på generativ utvikling

Samspeilet mellom daglengde og temperatur påvirker blomstringsdato når plantene har nådd det kritiske morfologiske utviklingsstadiet for å motta signal for blomstring (Thomas & Schwabe 1969). Etersom vegetativ utvikling øker med økende temperatur, er blomstringstidspunktet også indirekte fremmet av høye temperaturer. Økt veksthastighet vil gjøre at humlen raskere når det morfologiske utviklingsstadiet hvor den responderer på fotoperiodisk blomstringsstimuli. Rybáček (2012) fant også at temperaturøkning var assosiert med tidligere inntreden av blomstring.

Fenologisk utviklingshastighet ble fremskyndet med minst to uker for alle klon, ved å øke temperaturen fra 15 °C til 20 °C (Figur 15). Klon 19 skilte seg ut, med en fremskynding på hele 3 uker ved temperaturøkning fra 15 °C til 20 °C. Etersom klon 19 var svakere ved etablering enn de andre klonene, var dette en uventet respons, da det heller var forventet at klonen skulle blomstre senere.

Ved kun å benytte planter som blomstret (Figur 15, Figur 19) må resultatene vurderes i sammenheng med antall planter som blomstret innen de forskjellige temperaturklimaene (Tabell 3). Det kunne blitt lagt inn en fiktiv blomstringsdato ved siste registreringsdag for planter som ikke blomstret, men dette ville ha forstyrret de faktiske observasjonene.

Blomstringsgrunnlaget på friland og i tunell var spesielt lavt for klon 6 og klon 19, med kun to blomstrende planter på friland, og seks i tunell. Dermed er observasjonene svært tilfeldige for disse plantene, spesielt på friland. Samtidig begrenser den ukentlige registreringen nøyaktigheten av den faktiske datoen for blomstring. Dersom blomstringen hadde blitt registrert flere dager i uken, ville en ha fått større nøyaktighet i modellen.

Sønsteby et al. (2009) fant i sine temperaturforsøk med bringebær at noen planter under lave temperaturer opphørte vekst og dannet en endeblomst. Dette er en hvilerespons på kalde temperaturer, og kan ha vært tilfellet for en plante hos klon 37 på friland i dette forsøket (Figur 15). Platen hadde svært rask fenologisk utviklingshastighet, men satte kun en blomst i toppen.

Maksimumstemperaturen tyder på å være den viktigste driveren for fenologisk utvikling i humle, ettersom denne temperaturen varierte mest mellom temperaturklimaene. Lignende resultater er også funnet i andre forsøk. Robertson (1968) fant at maksimumstemperaturen hadde større betydning enn minimums-temperaturen for å fremskynde fenologisk utvikling i

korn. Skjelvåg (1981) fant at dagtemperaturen var viktigere enn nattetemperaturen for å fremskynde fenologisk utvikling i åkerbønne (*Vicia faba*).

4.3.1 Nodiestadium ved blomstring

Den signifikante effekten av ulikt antall nodier ved blomstring under alle dyrkingssystem tyder på at temperatur kan påvirke morfologisk utviklingsstadium hvorfra generativ utvikling initieres. Denne analysen kan også være påvirket av hvilke kloner som blomstret under de ulike temperaturklimaene, ettersom det ikke var alle plantene som blomstret i tunell og på friland (Tabell 3). Samtidig kan planter overskride kritisk morfologisk utviklingsstadium for blomstring, og øke veksten ytterligere, dersom forhold ligger til rette for dette, fordi planter ofte er «programmerte» til å maksimere formeringen (Taiz & Zeiger 2010).

Det var signifikante forskjeller mellom kloner i antall nodier ved blomstring. Thomas & Schwabe (1969) fant at kloner som blomstret tidlig i vekstsesongen hadde lavere antall nodier ved blomstring, enn kloner som blomstrer senere. Dette så ut til å være gjeldende for noen av klonene undersøkt i dette forsøket også, spesielt for klon 37 og klon 40. Klon 37 hadde tidligst blomstring, og samtidig et lavt antall nodier ved blomstring. Klon 40 blomstret sent, og hadde høyere antall nodier ved blomstring. For å danne flere nodier, er ofte lengre vekstperiode nødvendig. Ved høyere krav til antall utviklede noder før blomstringen kan induseres, vil planten ha lengre tid i vegetativ fase, og dermed kunne danne mer vegetativ vekst, som øker grunnlaget avling.

Ved å nærmere undersøke hvor mange nodier de ulike klonene hadde ved blomstring i ulike dyrkingssystem, kunne en bedre ha skildret temperaturresponsen i ulike temperaturklima.

4.3.2 Betydningen av daglengde for blomstring

Lang fotoperiode i kombinasjon med lav temperatur øker perioden med vegetativ vekst hos humle, og gir et godt grunnlag for høy avling (Thomas & Schwabe 1969). Daglengden øker perioden med vegetativ vekst, ettersom indusering av blomstringen utsettes ved lange dager (Neve, 1991). Dette tyder på at klimaforholdene i Norge er gode for humledyrking. For kortdagsplanten solbær er det også vist en økning i blomstringsresponsen ved å økt fotoperiode fra 10 til 15 timer (Heide & Sønsteby 2012).

Blomstringen hos humle kan bli hemmet ved en kombinasjon av høye temperaturer og lange dager (Thomas & Schwabe 1969). Daglengden på Apelsvoll under forsøksperioden var mellom 16-17 timer ved blomstring (Vedlegg A). I plasthus forekom det at maksimumstemperaturen overskred 35 °C, som beskrives som øvre grense for humlens vekst (Rybáček 2012). Det ble ikke registrert noen synlige skader av denne høye temperaturen. Dette kan skyldes at den høye temperaturen kanskje var kortvarig, og muligens kan minimumstemperaturene ha bidratt til å redusere effekten av de høye maksimumstemperaturene oppnådd på dagtid. Gjennomsnittstemperaturene var betydelig lavere, og ettersom alle plantene i plasthus blomstret, var ikke temperaturen her tilstrekkelig høy for å hemme blomstring. Tatt i betraktning at deler av vekstsesongen 2015 var relativt kjølig på Apelsvoll, må en ved dyrking i plasthus vurdere risikoen for at i overkant høye temperaturklima kan forekomme ved dette dyrkingssystemet, og dermed kunne hemme blomstring. Ved dyrking i plasthus vil der være nødvendig å ha god ventilering, for å kunne senke temperaturen på dager med høy innstråling og høy temperatur.

Sammenlignet med etablerte humleplanter på Apelsvoll varierte tidspunktet for blomstring i dette forsøket noe. Det ble gjennomført en registrering av blomstringstidspunkt i klonsamlingen for humle på Apelsvoll, for å ha et referansepunkt til observasjoner registrert i dette forsøket. Ved 6. juli 2015 hadde kun klon 19 og klon 37 blomstret.

Det var forventet at klon 19 og klon 37 skulle blomstre først, ettersom disse er hjemmehørende i Nordland og Tromsø, hvor det er midnattssol deler av sommeren, eller svært lang daglengde. Mange planter ved høye breddegrader krever omtrent kontinuerlig daglengde for å vedlikeholde vegetativ vekst (pers. med. Olsen 2016). Dette kan forklare den tidlige vekstavslutningen for klon 19 og klon 37 ved dyrking på Apelsvoll, med kortere daglengde enn opprinnelsesstedet til disse klonene. Ved dyrking lengre nord, hvor dagene er

lengre, vil disse klonene kanskje blomstre senere, dermed vil perioden med vegetativ vekst kunne være lengre, som kan gjøre at disse kanskje har en høyere avling lengre nord. Samtidig kan den tidlige blomstringen skyldes at klon 19 og klon 37 ikke er like sensitive til temperatur som de andre, sørligere klonene, ettersom de kan være tilpasset lavere veksttemperaturer fra opprinnelsesstedet. Dette har vist seg å være gjeldende for den nordlige solbærklonen 'Murmanschanka', som blomstret tidligere ved 15 °C enn 20 °C (Sønsteby et al. 2012).

Klon 40, fra Vest-Agder, var en av de sørligste klonene i dette forsøket. Den sene blomstringa kan tyde på at denne klonen holder mer på kortdagskravet, og dermed er mer daglengdesensitiv. Daglekdekravet bør undersøkes nærmere dersom denne klonen skal dyrkes lengre nord, hvor det tar lenger tid før dagene blir tilsvarende korte, for å sikre at klonen vil blomstre under forhold med lengre dager. Samtidig kan det høye morfologiske utviklingsstadiet være forklaringen på den sene blomstringen.

Humlens kraftige vekst gjør det komplisert å undersøke samspillet mellom daglengde og temperatur under kontrollerte forhold. Veksten vil kunne påvirkes dersom humlen har begrenset høyde å vokse opp langs, som har vist seg å være en vanskelig å unngå i kontrollerte daglengdeforsøk i veksthus (Thomas & Schwabe 1969). Lokale utprøvinger vil trolig være tilstrekkelig for å undersøke om daglengden begrenser potensiale for produksjon for de forskjellige klonene, samtidig som en må ta hensyn til at temperatur virker i samspill med daglengdekravet.

4.4 Avling

4.4.1 Effekt av morfologisk og generativ utvikling som grunnlag for avling

Samspeilet mellom morfologisk og generativ utvikling har betydning for avling hos humle. Et høyt antall nodier gir godt grunnlag for sideskuddannelse, i tillegg til at en viss lengdevekst av sideskuddene er ønskelig for å øke avlingen. Sen blomstring gir grunnlag for mer vegetativ vekst. Ofte har sorter med lengre utviklingstid høyere avling (Taiz & Zeiger 2010).

En raskere fenologisk utvikling som korter ned vekstperioden, antas å gi en reduksjon i avling, så vel som innholdet av α -syre (Pavlovic et al. 2012; Thomas 1980). Det ble ikke testet for kvaliteten av avlingen under ulike temperaturklime, da avlingen ble for lav ved friland og tunell. Samtidig er ikke avlingen under etableringsåret representativt for senere avling (Rybáček 2012), og det ville være bedre å undersøke kvalitetsforskjeller mellom mer etablerte humleplanter i forskjellige temperaturklime.

4.4.2 Karakteristikk av klonene rangert etter avling

Klon 40

Klon 40 markerte seg som den mest interessante klonen for produksjon. Den viste egenskaper som er typiske for sene kloner, som høyt antall nodier ved blomstring og lang periode med vegetativ vekst før den gikk over i generativ utvikling. Tilsvarende egenskaper har vist seg hos andre typisk seine kloner, som New-York Hop (Thomas & Schwabe 1969)

Det høye antallet nodier ved blomstring tydet på at klon 40 må nå et relativt høyt morfologisk utviklingsstadium, før den går over i generativ fase. Sen blomstring kan også ha sammenheng med strengere kortdagskrav for å indusere blomstring.

Det høye antallet nodier ved blomstring ga grunnlag for mange sideskudd, samtidig som klon 40 i gjennomsnitt hadde de lengste sideskuddene i alle temperaturklimaene. Registreringer gjennomført av Dragland et al. (2013) viste at klon 40 hadde lengre bladlengde og bredere blad, enn de andre klonene undersøkt i dette forsøket. I kombinasjon med den lange utviklingsperioden, ga summen av disse faktorene et godt grunnlag for høy fotosynteseproduksjon, som trolig var årsaken til den høye avlingen.

Thomsen (2014) og Sundgren et al. (2011) har også vist at klon 40 utmerker seg med høye avlinger på inntil 0,85 kg pr. plante i etablerte felt. Avlingene var høyere ved dyrking i tunell, sammenlignet med friland.

I dette forsøket var det vanskelig å få dannet stiklinger av god kvalitet for klon 40. Dette kan skyldes dårlig kvalitet av rotstokkmassen som ble benyttet, men dersom det skulle vise seg å være typisk for klonen kan det undersøkes om det er lettere å etablere stiklinger fra rhizomer.

Klon 40 var lite mottakelig for bladlus, men svært mottakelig for humlebladskimmel i dette forsøket.

Klon 6

Klon 6 hadde svært god vekst og utvikling under temperaturklimaet oppnådd i plasthus, mens veksten var dårligere på friland og i tunell, hvor det var relativt få planter som gikk over i generativ utvikling. Dette kan tyde på at klon 6 er sensitiv for temperatur, eller så kan det kanskje skyldes at klonen krever lengre etableringstid det første året. Sundgren et al. (2014) fant at klon 6 hadde et middels kongleutbytte ved dyrkingsforsøk på friland.

Tidspunkt for generativ utvikling var ikke enstydig, men så ut til å være noe før klon 40.

Sideskuddlengdene til klon 6 og klon 40 var signifikant like, men gjennomsnittet var ca. 10 cm lengre for klon 40. Gjennomsnittet for tørrvekt av avlingen var svært lik for klonene, og dette kan kanskje forklares ved at det ble observert større kongler hos klon 6. Den høye avlingen hos klon 6 i plasthus taler for at den har potensiale for produksjon, men den store forskjellen i responsen under ulike temperaturklima tyder på at denne klonen vil ha stor effekt av å dyrkes på et varmt sted.

Klon 6 var svært mottakelig for humlebladskimmel, hvor alle planter i plasthus var utsatt. Den var også mottakelig for bladlus.

Klon 37

Under alle temperaturklima utviklet klon 37 blomster tidlig, og hadde et lavt antall nodier ved blomstring. Dette er et typisk karaktertrekk for kloner som er tidlige, som også viste seg hos klon CC-11 i Thomas & Schwabe (1969) sine forsøk. Det var ikke signifikante forskjeller i lengde av sideskuddene mellom temperaturklimaene, men avlingen var signifikant høyest i plasthus. Kortere sideskudd er ofte mer forgreinet, og rikelig forgreining på de relativt korte sideskuddene hos klon 37 ble observert gjennom forsøksperioden.

Registreringer gjort av Dragland et al. (2003) viste at klon 37 hadde både kort bladlengde og bladbredde. Kombinasjonen lavt antall nodier, korte sideskudd og små blad, gir i teorien ikke grunnlag for høy avling. Neve (1991) hevdet at fotosyntesehastighet kunne variere mellom klon, og en forklaring er denne er svært høy hos klon 37.

Tidligere forsøk på Apelsvoll (Sundgren et al, Thomsen 2014) har vist forholdsvis god avlinger for klon 37.

Klon 37 var svært mottakelig for både bladlus og humlebladskimmel.

Klon 7

Klon 7 tydet på å være en sen klon, ved et høyt antall nodier ved blomstring, samtidig som den gikk over i generativ utvikling sent. Lavere blomstring på friland og i tunell, sammenlignet med plasthus, kan skyldes at plantene her ikke nådde kritisk morfologisk utviklingsstadium for å gå over i generativ utvikling. Thomsen (2014) fant en tredobling i avling hos klon 7 ved dyrking i tunell, sammenlignet med friland. Dette tyder på at klon 7 vil være spesielt aktuell å dyrke under varmere temperaturklime.

Avlingen var signifikant høyest i plasthus, selv om sideskuddlengden ikke hadde signifikant økning i lengde her. Dette kan skyldes at klon 7 har kortere sideskudd, med mange forgreininger, som hos klon 37.

Klon 1

Klon 1 framsto som mindre interessant for videre produksjon, ettersom denne var raskt ute med generativ utvikling, hadde korte sideskudd, relativt lavt antall nodier ved blomstring og lav avling. Verken avling eller sideskuddlengde var signifikant ulikt under forskjellige temperaturklime. Klon 1 var den eneste planten hvor alle planter under alle dyrkingssystem gikk over i generativ utvikling. Dette kan skyldes det lave morfologisk utviklingsstadiet ved blomstring. Klon 1 var den sterkeste mot humlebladskimmel, hvilket er en god egenskap i produksjon.

Klon 19

Klon 19 hadde dårlig spiring av rotstokkmassen, og hadde dermed sen etablering, sammenlignet med de andre klonene. Årsaken til sen spiring kan skyldes problem med sykdom på plantematerialet, dårlig overlevelse eller lengre etableringstid. En annen forklaring kan være at ettersom klon 19 er den mest nordlige klonen kan den ha utviklet strengere vernaliseringskrav, som ikke ble tilfredsstilt tilstrekkelig.

Den seine etableringen av klon 19, kan ha vært årsaken til at klonen presterte dårlig i dette forsøket med hensyn på antall planter blomstret på friland og i tunell.

I likhet med klon 37 hadde også klon 19 et lavt antall nodier ved blomstring, samtidig som klon 19 også tydet på å være en tidlig klon i plasthus, og i registreringer gjort i klonsamlingen for humle på Apelsvoll.

Klon 19 var svært mottakelig for bladlus, men i liten grad utsatt for humlebladskimmel.

4.5 Bladlus og sykdom

Det ble observert betydelig mindre bladlus på friland, sammenlignet med tunell og plasthus. Forholdene lå trolig ikke til rette for bladlus på friland, ettersom det var kjøligere og mer vindutsatt her. I plasthus var plantene mest utsatt for både humlebladskimmel og bladlus. I tunellen var det også mye bladlus, men forekomsten av humlebladskimmel var lavere her.

4.6 Generelle vurderinger av forsøksoppsett og temperaturklima

Ettersom plantene ble etablert samme år som forsøket ble gjennomført, kan det ikke forventes å oppnå full avling (Hieronymus 2012). Kølster et al. (2009) hevdet likevel at kraftige, nyetablerte humleplanter kan oppnå full vekst første sesong. Ved forsøksstart hadde alle stiklingene i dette forsøket relativt lik kvalitet. Forholdene for stiklingene til å etablere seg var bedre i plasthus, enn i de andre to temperaturklimaene. Dersom etablering av stiklingene hadde startet tidligere, ville de kunne være kraftigere ved forsøksstart. Dette var i konflikt med målet om å begrense tiden med lik temperatur for stiklingene, for å best mulig kunne skildre effekten av ulike temperaturklima.

På grunn av humlens kraftige vekst er den en utfordrende plante å gjennomføre forsøk med. Plantene i plasthuset hadde svært hurtig vekst i juli. Praktiske utfordringer, både i tunellen og i plasthuset, gjorde det komplisert å forlenge klatretrådene, spesielt for planter som oversteg 3-4 m i vekst. Det ble forsøkt å føre plantene langs en nedadgående, nord-øst-vendt klatretråd i plasthuset. Det var vanskelig å få plantene til å vokse langs denne klatretråden, både fordi den i motsatt retning av sola, og fordi klatretråden gikk nedover. Dette førte til at flere av plantene i plasthuset kveilte seg rundt mønet i taket i stedet. Det ble da vanskelig å skille de ulike plantene fra hverandre, som kompliserte registreringene. I plasthuset var det syv planter som knakk øverst. Dette hadde flere årsaker, blant annet på grunn av mangel på klatretråd, kveiling rundt mønet i taket og skade fra fugler.

Lengdemålingene av humlerankene gjennomført i dette forsøket ble noe unøyaktige utover sesongen, da det var utfordrende å måle veksten etter hvert som den oversteg 3-4 m i høyden i plasthus. På friland og i tunell senket tyngden av plantene oppbindingssystemet utover sesongen, og dette medførte at lengdemålingene av plantene her ble forstyrret. Videre studier bør vurdere morfologisk utviklingsstadium, målt i antall nodier, i sammenheng med lengde, etter som disse kan kompensere for hverandre (Thomas & Schwabe 1970).

4.7 anbefalinger for videre forsøk og produksjon

Denne drøftingen av effekten av forskjellige temperaturklima hos kloner av norsk humle skal leses og forstås som en foreløpig innføring i hvordan en kan håndtere og forstå planten i Norge. For produksjon av norsk humle må de rette klonene velges ut, og tilpasses de forskjellige klimaene her i landet. Tilpasninger av kloner fra en gitt lokalitet gjør at klonen vil kunne være påvirket av endringer i miljø. For å velge ut egnet plantemateriale under gitte vekstbetingelser er det interessant å undersøke hvilke egenskaper kloner fra ulike områder har under forskjellige temperaturer. Dette forsøket er starten på et arbeid som bør fortsette videre.

Humle er en flerårig plante som kan ha ulike egenskaper avhengig av alder, spesielt under etableringsåret. Effekten av temperaturklima bør undersøkes videre for mer etablerte planter. Ved å registrere dyrkingstemperaturene gjennom sesongen kan en få et bilde av hvordan vekst og avling varierer under ulike år. Samtidig bør flerårige planter undersøkes for kvaliteten av konglene ved ulike temperaturforhold, da temperatur har vist seg å ha stor betydning for kvalitet (Pavlovic et al. 2012).

Veksttemperaturen hos humle må være tilstrekkelig høy slik at plantene har god vekst, samtidig som temperaturen må begrenses for å oppnå tilfredsstillende kvalitet av konglene. Kongler som skal benyttes i brygging, skal helst ha et høyt innhold av aroma- og bitterstoffer som er interessante for bryggingen. Plaster over plantene i tunell og i plasthus vil kunne begrense innstrålingen (Espil et al. 2006), som kanskje vil kunne ha betydning for kvaliteten av konglene. Dette må undersøkes nærmere, og muligens vil høyere avling i tunell, og eventuelt plasthus, veie opp for redusert kvalitet, dersom dette skulle vise seg å være tilfellet.

Dyrking av humle i Norge tyder på å ha potensiale (Thomsen 2014), men vekstforholdene i Norge kan gi andre utfordringer enn humleproduserende land med varmere klima opplever. I Norge må vi derfor være kreative og finne løsninger på utfordringene her. Ettersom dyrking i tunell har gitt gode resultater (Thomsen 2014), vil det kanskje være interessant å hente inspirasjon til dyrkingsteknikk fra andre kulturer i regulert klima, som bær og frukt, samtidig som flere tiltak for å regulere plantevekst benyttes i veksthusproduksjon. Erfaringsutveksling med andre land med lignende klimaforhold vil også være nyttig.

5 Konklusjon

Resultatene i dette forsøket viste signifikante forskjeller i vekst og utvikling hos seks kloner av norsk humle under forskjellige temperaturklima, oppnådd ved dyrking i plasthus, tunell og på friland. Temperaturen var i gjennomsnitt 19,0 °C i plasthus, 14,6 °C i tunell og 14,0 °C på friland.

Både morfologisk og generativ utvikling gikk raskest under temperaturklima oppnådd i plasthus. For alle kloner var fenologisk utviklingshastighet i gjennomsnitt to uker raskere her, sammenlignet med friland og tunell. Mellom dyrkingssystemene var lengde av sideskudd og antall nodier ved blomstring signifikant høyest i plasthus, og dette la grunnlaget for at også avlingene ble signifikant høyere her. Lengden av sideskudd økte signifikant fra tunell til friland, men avlingen var signifikant lik under disse temperaturklimaene.

Temperatur hadde mest betydning for vekst og utvikling for klon 6, 7, 37 og 40, hvor klon 40 og klon 6 responderte mest på temperaturøkningen i plasthus. Klon 1 og klon 19 var mindre påvirket av temperaturforskjeller i dette forsøket.

Klon 40 markerte seg som mest interessant for videre produksjon, med egenskaper som lange sideskudd, høyt antall nodier ved blomstring og sen fenologisk utviklingshastighet. Klon 6, 7 og 37 tyder også på å være interessante for produksjon, mens klon 19 og klon 1 kom dårligere ut i dette forsøket.

6 Kilder

- Barthel, K. (2014). *Golfstrømmen*. Bergen: Store norske leksikon (lest 4.4.).
- Bernier, G., Kinet, J.-M. & Sachs, R. M. (1985). *The physiology of flowering : 3 : The development of flowers*, b. 3. Boca Raton, Fla: CRC Press.
- Børtnes, G. (1997). Humle (*Humulus lupulus*) - Dyrking, hausting og etterbehandling. *Planteforsk Grønn forskning*, 25/97.
- Cline, M. G. (1991). Apical dominance. *The Botanical Review*, 57 (4): 318-358.
- Criddle, R., Smith, B. & Hansen, L. (1996). A respiration based description of plant growth rate responses to temperature. *Planta*, 201 (4): 441-445.
- Davies, P. (2012). *Plant hormones and their role in plant growth and development*: Springer Science & Business Media.
- Dragland, S. B., G, Suojala, T., Pennanen, E., Strese, M. & Strese, E. (2003). Nordisk humleprosjekt (*Humulus lupulus* L.): Gjennomført 2000-2003 i samarbeid mellom Danmark, Finland, Sverige og Norge. Hedmark: Planteforsk avd. Kise, Danmarks Jordbrugs Forskning, MTT Agrifood Research Finland.
- Dubbelden, K. & Oosterbeek, B. (1995). The availability of external support affects allocation patterns and morphology of herbaceous climbing plants. *Functional Ecology*, 9 (4): 628-643.
- Døving, A. N., A, Hopperstad, O. & Myhre, S. (2011). Plasttunnelar for dyrking av økologiske bær. *Bioforsk TEMA* (1).
- Espi, E., Salmeron, A., Fontecha, A., García, Y. & Real, A. (2006). Plastic films for agricultural applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 22 (2): 85-102.
- Eyck, L. & Gehring, D. (2015). *The hop grower's handbook: The esseintail guide for sustainable , small-scale production for home and market*. Vermont: Chelsea Green Publishing.
- Glover, B. (2014). *Understanding Flowers and Flowering Second Edition*: OUP Oxford.
- Hallund, L. (2008). *Danske øl mangler dansk humle*. Videnskab.dk.
- Hatfield, J. L. & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, Part A: 4-10.
- Haunold, A. (2010). Hops and hop growing. I: Verheye, W. (red.) b. || *Soils, plant growth and crop production*, s. pp. 192-206. England: Eolss.

- Heide, O. M. & Sønsteby, A. (2012). Floral initiation in black currant cultivars (*Ribes nigrum* L.): Effects of plant size, photoperiod, temperature, and duration of short day exposure. *Scientia Horticulturae*, 138: 64-72.
- Hieronimus, S. (2012). *For the love of hops - A practical guide to aroma, bitterness and the culture of hops*. Brewing Elements Series. United States of America: Brewers Publications.
- Hole, H., Nordskog, B. & Eikemo, H. (2015). Været i vekstsesongen 2015. *NIBIO POP*. Ås: NIBIO.
- Jensen, I. (2015). *Været som var: Apesvoll, Østre Toten*. I: MeteorologiskInstitutt (red.): Yr.no (lest 10.04.2016).
- Kidmose, U., Bjørn, G. & Lund, C. (2009). *Fynsk øl - brygget med lokal humle*. Danmark: Historisk Samfund for Fyn.
- Knudsen, A. (2016). Enda mer øl fra Henning E. Thoresen: Varsler tre nye bryggerier. *Dagligvarehandelen*.
- Kølster, P., Bjørn, G. & Munk, L. (2009). Humle og humledyrking under danske forhold: Direktoratet for Fødevareerhverv, Århus Universitet, Københavns Universitet, Husbryggeriet Jakobsen, Fuglebjerggaard
- Lambers, H., Chapin III, F. S. & Pons, T. L. (1998). *Plant water relations*: Springer.
- LMT. (2016). *Apelsvoll Målestasjon*. Landbruksmeteorologisk Tjeneste. Apelsvoll: NIBIO (lest 1.4).
- Lyashenko, N. (1985). Effect of meteorological conditions on bitter substance accumulation in hops. *Khemelevodstov*, 7 (37-41).
- Lyndon, R. F. (1998). *The shoot apical meristem: its growth and development*: Cambridge University Press.
- Miller, R. (1959). Morphology of *Humulus lupulus*. II. Secondary Growth in the Root and Seedling Vascularization. *American Journal of Botany*, 46 (4): 269-277.
- Mozny, M., Tolasz, R., Nekovar, J., Sparks, T., Trnka, M. & Zalud, Z. (2009). The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149 (6): 913-919.
- Neve, R. (1991). *Hops*. England: Springer-Science+Buisness Media, B.V.
- Olsen, J. (2016). *Personlig meddelelse*. ÅS: Professor, Institutt for Plantevitenskap, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

- Pavlovic, V., Pavlovic, M., Cerenak, A., Kosir, I., Ceh, B., Rozman, C., Turk, J., Pazek, K., Krofta, K. & Gregoric, G. (2012). Environment and weather influence on quality and market value of hops. *Plant, Soil and Environment-UZEI*, 58 (4): 155-160.
- Perrault, J. (2010). Proceedings from the March 26, 2010 UVM Extension Hops Conference: Hopping in to it! *Crops & Soils Program*: University of Vermont.
- Ritchie, J. & NeSmith, D. (1991). Temperature and crop development. *Modeling plant and soil systems*: 5-29.
- Robertson, G. (1968). A Biometeorological Time Scale for a Cereal Crop Involving Day and Night Temperatures and Photoperiod. *International Journal of Biomaterials*, 12 (3): 191-223.
- Rybáček, V. (2012). *Hop production*. Development in Crop Science 16, b. 16. Tsjeckia: Elsevier Science Publishers.
- Ryvarden, L. (1993). *Norges planter 1*. Oslo: Cappelen Damm.
- Sachs, T. (2005). *Pattern formation in plant tissues*, b. 25: Cambridge University Press.
- Schou, Ø. (2015, 19.11.2015). Bitter kamp om ølhunder. *Drammens Tidende*.
- Shimizu-Sato, S. & Mori, H. (2001). Control of outgrowth and dormancy in axillary buds. *Plant Physiology*, 127 (4): 1405-1413.
- Simmonds, P. (2013). *The Cultivation of Hops in England, Europe, America, Australasia and India*. England: Read Books Ltd.
- Skjelvåg, A. (2016). *Personlig meddelelse*. Ås: Professor emeritus, Institutt for Plantevitenskap, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Skjelvåg, A. (1981). Effects of Climate Factors on the Growth and Development of the Field Bean (*Vicia Faba L. var minor*). Norge: Noregs Landbruksvitenskapelege Forskningsråd.
- Smith, L. (1970). The effect of temperature on the quality of hops for 1969. *Rep. Dep. Hop Res Wye College*: 47-60.
- Solberg, S., Brantestam, A., Kylin, M., Bjørn, G. & Thomsen, M. (2013). Genetic variation in Danish and Norwegian germplasm collection of hops. *Biochemical Systematics and Ecology*, 52: 53-59.
- Srećec, S., Kvaternjak, I., Kaučić, D. & Marić, V. (2004). Dynamics of Hop Growth and Accumulation of α -acids in Normal and Extreme Climatic Conditions. *Agriculturae Conspectus Scientificus (ACS)*, 69 (2-3): 59-62.

- Srećec, S., Kvaternjak, I., Kaučić, D., Špoljar, A. & Erhatic, R. (2008). Influence of Climatic Conditions on Accumulation of α -acids in Hop Clones. *Agriculturae Conspectus Scientificus (ACS)*, 73 (3): 161-166.
- Sundgren, T., Thomsen, M., Åssveen, M., Stubhaug, G., Bergjord, A., Mordal, R. & Eltun, R. (2014). *Norsk malt, humle og urter - smaken av norsk øl*. Jord- og Plantekultur 2014; Forsøk i korn, olje- og protienvekster, engfrøavl og potet
- Sønsteby, A. & Heide, O. M. (2008). Environmental control of growth and flowering of *Rubus idaeus* L. cv. Glen Ample. *Scientia Horticulturae*, 117 (3): 249-256.
- Sønsteby, A., Myrheim, U., Heiberg, N. & Heide, O. M. (2009). Production of high yielding red raspberry long canes in a Northern climate. *Scientia Horticulturae*, 121 (3): 289-297.
- Sønsteby, A., Opstad, N. & Heide, O. (2012). Effects of summer temperature on growth and flowering in six black currant cultivars (*Ribes nigrum* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87 (2): 157-164.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology 5th edition*. U.S.A.: Sinauer Associates Inc.
- Thomas, G. & Schwabe, W. (1969). Factors Controlling Flowering in the Hop. *Annals of Botany*, 33 (4): 781-793.
- Thomas, G. & Schwabe, W. (1970). Apical morphology in the hop (*Humulus lupulus*) during flower initiation. *Annals of Botany*, 34 (4): 849-859.
- Thomas, G. (1971). Crop physiology. The year's work. *Rep. Dep. Hop Res Wye College*: 28-33.
- Thomas, G. (1980). Weather factors controlling the alpha-acid content of hops (*Humulus lupulus* L.). *Journal of Horticultural Science*, 55 (1): 71-77.
- Thomsen, M. (2014). Humle - dyrkingsforsøk i Norge. *Gartneryrket* (10).
- Went, F. W. (1953). The Effect of Temperature on Plant Growth. *Annual Review of Plant Physiology*, 4 (1): 347-362.
- Williams, I., Roberts, J. & Coley-Smith, J. (1961). Studies of the dormant phase of the hop (*Humulus lupulus* L.). I: College, W. (red.). *Department of Hop Research Annual Report*. London: Wye College.
- Zattle, F. & Jehl, J. (1962). On the influence of atmospheric conditions on yield and quality of the hops in the Hallertau in the period 1926-61. *Hofpen-Rundschau*, 13: 61-64.

Vedlegg A – Daglengde på Apelsvoll under forsøksperioden

Formel for utregning av daglengder er personlig meddelelse Skjelvåg (2016)

Daglengede på Apelsvoll i forsøksperioden	
Dato	Daglengde (timer)
15.jun	18.7
22.jun	18.7
29.jun	18.7
06.jul	18.5
13.jul	18.1
20.jul	17.7
27.jul	17.2
03.aug	16.6
10.aug	16.0
17.aug	15.4
24.aug	14.8
31.aug	14.2
07.sep	13.5