



Höstvetets kväveupptag i nollrutor

Påverkan av förfrukt, ler- och mullhalt

Albin Strandvik

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för växtproduktionsekologi
Agronomprogrammet mark och växt
Uppsala 2026



Höstvetets kväueupptag i nollrutor. Påverkan av förfrukt, ler- och mullhalt.
Nitrogen uptake in winter wheat. Effects of preceding crop, clay and organic matter content.

Albin Strandvik

Handledare:	Sigrun Dahlin, SLU, Institutionen för växtproduktionsekologi
Examinator:	Martin Weih, SLU, Institutionen för växtproduktionsekologi

Omfattning:	15hp
Nivå och fördjupning:	Grundnivå, G2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i Biologi
Kurskod:	EX0894
Program/utbildning:	Agronomprogrammet mark och växt
Kursansvarig inst.:	Institutionen för vatten och miljö
Utgivningsort:	Uppsala
Utgivningsår:	2026
Nyckelord:	Höstvete, förfrukt, kväueupptag, nollrutemätningar, C/N-kvot, höstraps, ärt, vall, havre.

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för växtproduktionsekologi

Sammanfattning

Det moderna jordbruket är beroende av kvävegödsel vars pris och produktion påverkas av geopolitiska konflikter. Detta innebär att lantbrukare är helt utlämnade till världsmarknadens priser, vilket kan leda till stora variationer i pris från år till år. En ökning kan ha stor negativ påverkan på den planerade gödselstrategin. Däremot, om priserna på insatsmedel är låga är risken för överanvändning stor, vilket har negativ miljöpåverkan. Därmed är det viktigt att kunna ha en mer cirkulär användning av kväve inom jordbruket med fokus på effektivt kväveutnyttjande. En god förståelse för kväveleveransen i enskilda fält, beroende av förfrukt och rådande väderförhållanden, är central för att öka kväveeffektiviteten.

I detta arbete har en analys av Jordbruksverkets nollrutemätningar från 2013 – 2025 gjorts i syfte av att uppskatta det förväntade kväveupptaget i höstvete (*Triticum aestivum*) beroende av förfrukt, ler- och mullhalt. Variansanalyser och grafer har gjorts för att få en tydligare bild av deras påverkan. De förfrukter som analyseras är höstraps (*Brassica napus*), ärt (*Pisum sativum*) och höstvete. Lerhaltskategorierna som analyseras är lättlera (LL), mellanlera (ML) och styv lera (SL), medan mullhaltskategorierna som analyseras är mullfattig (mf), något mullhaltig (nmh), måttligt mullhaltig (mmh) och mullrik (mr). Även variationer i nederbörd och temperatur för halvåret 2014 – 2025 kommer sammanfattas, och kväveupptaget under dessa år kommenteras.

Resultaten visar tydligt att vid odling av höstvete med höstraps eller ärt som förfrukt är kväveupptaget högre än efter höstvete fram till utvecklingsstadiet DC 55. Samtidigt uppvisade höstvetet högst kväveupptag på mellanleror och en tendens till lägre kväveupptag på mullrika jordar. Slutligen uppvisades störst skillnad i kväveupptag mellan år med höga temperaturer i samband med långa torr-perioder jämfört med år som hade lägre temperaturer och jämn nederbörd.

Slutsatsen är att den statistiskt signifikanta påverkan som förfrukt och lerhalt har bör tas i akt vid en gödsel- och växtföljdplanering för att optimera kväveeffektiviteten i fälten.

Nyckelord: höstvete, förfrukt, kväveupptag, nollrutemätningar, C/N-kvot, kväve

Abstract

The modern-day agriculture is dependent on inputs such as nitrogen fertilizer, whose price and production are affected by geopolitical conflicts. This means that input costs can increase while farmers are unable to affect it. If the input costs on the other hand are cheap, the overuse of these can be expected, which can have severe ecological consequences. Therefore, is it essential to have a more circular approach in the use of nitrogen. With a well-planned crop rotation with soil texture considered while adapting to weather variations, the need of external nitrogen can decrease, all while increasing the nitrogen efficiency.

In this paper the Swedish Board of Agriculture's (Jordbruksverket) nitrogen uptake measures in wintervwheat (*Triticum aestivum*) fields from 2013 - 2025 will be analyzed. This, in order to facilitate the expected nitrogen uptake in winter wheat based on the preceding crop, clay- and organic matter content. Analysis of variance and graphs will be made in order to map out the effects of these factors. The preceding crops that will be analyzed are: winter canola (*Brassica napus*), peas (*Pisum sativum*), and winter wheat. The clay content will be split up in different levels, LL (low clay content of 10-20%), ML (medium clay content of 20-40%), and SL (high clay content of >40%). The organic matter contents will be split up in mf (low organic content of <2%), nmh (organic matter content of 2-3%), mmh (organic matter content of 3-6%), and mr (high organic matter content of >6%). Furthermore, the weather conditions of the years 2014 – 2025 in the areas that the measures were taken will be analyzed, and the nitrogen uptake during these years will be commented.

The results show clearly that winter canola or peas as preceding crops for winter wheat will increase the nitrogen uptake in the wheat during early stages compared to the control with winter wheat as a preceding crop. Also, ML is the most favourable clay content for nitrogen uptake in winter-wheat. Lastly, the organic matter contents did not show any significant differences in their effect on nitrogen uptake, however, the mr soils had the smallest values of uptake.

In summary, the suggested optimal nitrogen fertilizer level should be adapted to the preceding crop and clay content while growing winter wheat, all while adapting to the weather conditions.

Keywords: winter wheat, preceding crops, nitrogen uptake, C/N-ratio, nitrogen

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	9
Figurförteckning	10
Förkortningar	12
1. Inledning	13
1.1 Syfte och frågeställning	15
2. Bakgrund	16
2.1 Höstvete	16
2.2 Kväve i marken	17
2.2.1 Förekomst	17
2.2.2 Mineralisering och immobilisering	18
2.2.3 Nitrifikation och denitrifikation	18
2.2.4 Kväveförluster	19
2.2.5 Jordartens betydelse	19
2.3 Förfruktseffekter	21
2.3.1 Höstraps	23
2.3.2 Ärt 24	
2.4 Årsmån 2020 – 2025	25
2.4.1 Nederbörd	25
2.4.2 Temperatur	27
3. Material & metod	29
3.1 Datakällor	29
3.2 Dataanalys	29
3.3 Litteraturstudie	30
4. Resultat	32
4.1 Förfrukt	32
4.2 Mullhalt	33
4.3 Lerhalt	33
4.4 Årens påverkan	36
5. Diskussion	39
5.1 Förfruktseffekter	39
5.2 Mullhaltens påverkan	40
5.3 Lerhaltens påverkan	40
5.4 Skillnader mellan åren	42
5.5 Metoddiskussion och vidare forskning	43
6. Slutsats	44

7.	Tack!	45
8.	Referenser	46
9.	Bilagor	49
9.1	Nederbörd	49
9.1.1	Region Syd	49
9.1.2	Region Mitt.....	50
9.1.3	Region Öst.....	51
9.1.4	Region Kalmar	52
9.2	Temperatur.....	53
9.2.1	Region Syd	53
9.2.2	Region Mitt.....	54
9.2.3	Region Öst.....	55
9.2.4	Region Kalmar	56

Tabellförteckning

Tabell 1. Minimum-, maximum- och medelvärden för C/N-kvot i halm hos höstraps, ärt och havre. Data från Lindén & Engström 2006	23
Tabell 2. Ackumulerad nederbörd under årets första sex månader i olika regioner i Sverige angiven som medel-, maximum-, och minimumvärden för åren 2020 – 2025 samt normalvärden för perioden 1990 – 2020.. Alla värden är i mm. Data tagna från SMHI.....	25
Tabell 3. Sammanfattning av daggrader i olika regioner för perioden 01/01 – 01/07 år 2020 – 2025. Alla värden är i grader Celsius. Data tagna från SMHI	27
Tabell 4. Medelvärde (m.v.) och konfidensintervall 95% (k.i.) för kväveupptag i fält (kg N ha ⁻¹) beroende på förfrukt och utvecklingsstadium (DC). P-värde DC 22: <.0001*, p-värde DC 37: 0,0094*, p-värde DC 55: 0,14. Statistisk signifikans uppvisas i parentes bredvid värdet för kväveupptag. Data från 2013-2025	32
Tabell 5. Variation mellan medelvärde av kväveupptag i nollrutor i höstvete, uppdelat i analyserade utvecklingsstadier och olika faktorer: Årens påverkan (2014 – 2025), förfrukternas påverkan (höstraps, ärt och höstvete) och lerhaltens påverkan (LL, ML, SL) på kväveupptag.....	43

Figurförteckning

- Figur 1. Medelvärde för genomsnittlig ackumulerad nederbörd för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i region Syd, Mitt, Öst och Kalmar. 01/01 – 01/07, 2020–20205. Data tagna från SMHI 26
- Figur 2. Medelvärde för temperatursumma för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i region Syd, Mitt, Öst och Kalmar. 01/01 – 01/07, 2020–2025. Data tagna från SMHI 28
- Figur 3. Kväveupptag i höstvete beroende på förfrukt. Ärt = grön, n(DC22)=81, n(DC37)=104, n(DC55)=35. Höstraps = gul, n(DC22)=235, n(DC37)=397, n(DC55)=121. Höstvete = blå, n(22)=235, n(DC37)=321, n(DC55)=114. P-värde DC 22: <.0001*, p-värde DC 37: 0,0094*, p-värde DC 55: 0,14. Statistisk signifikans i kväveupptag visades mellan Höstraps (A) och Höstvete (B) vid utvecklingsstadierna DC 22 & 37. Data från 2013-2025 32
- Figur 4. Mullhaltens påverkan på kväveupptag i höstvete i utvecklingsstadium 37 med ärt, höstraps och höstvete som förfrukt. Mullfattig (mf) = rosa, n=50; något mullhaltig (nmh) = orange, n = 130; måttligt mullhaltig (mmh) = grön, n = 331; mullrik (mr) = brun, n = 33. P-värde: 0,041*. Ingen statistisk signifikant skillnad i kväveupptag visades. Data från 2013-2025 33
- Figur 5. Lerhaltens påverkan på kväveupptag i höstvete med ärt, höstraps och höstvete som förfrukt vid utvecklingsstadium DC 37. Lättlera (LL) = gul, n = 276; Mellanlera (ML) = grön, n = 285; Styv lera (SL) = brun, n = 95. P-värde: <0,0001*. Statistisk signifikant skillnad i kväveupptag mellan ML(A) och LL (B). Data från 2013-2025 34
- Figur 6. Lerhaltens påverkan på kväveupptag i höstvete med ärt som förfrukt vid utvecklingsstadium DC 37. Lättlera (LL) = gul, n = 28; mellanlera (ML) = grön, n = 54; styv lera (SL) = brun, n = 5. P-värde: 0,0013*. Statistisk signifikant skillnad i kväveupptag mellan ML (A) och LL (B). Data från 2013-2025 34
- Figur 7. Lerhaltens påverkan på kväveupptag i höstvete med höstraps som förfrukt vid utvecklingsstadium DC 37. Lättlera (LL) = gul, n = 150; mellanlera (ML) = grön, n = 106; styv lera SL = brun, n = 46. P-värde: 0,0002*. Statistisk signifikant skillnad i kväveupptag mellan ML (A) och LL (B). Data från 2013-2025 35
- Figur 8. Lerhaltens påverkan på kväveupptag i höstvete med höstvete som förfrukt vid utvecklingsstadium DC 37. Lättlera (LL) = gul, n = 98, mellanlera (ML) = grön, n = 125, styv lera (SL) = brun, n = 44. P-värde: 0,11. Ingen statistisk signifikant skillnad i kväveupptag visades. Data från 2013-2025 35

Figur 9. Kväveupptag vid utvecklingsstadium DC 22 i höstvetete med höstraps som förfrukt, 2014 – 2025. Medelvärde för nollrutor i Region Syd, Kalmar, Öst och Mitt. P-värde (år): <0,0001*. Antal mätningar på X-axeln och statistisk signifikans över staplarna. Data från 2014-2025.....	36
Figur 10. Kväveupptag vid utvecklingsstadium DC 37 i höstvetete med höstraps som förfrukt, 2014 – 2025. Medelvärde för nollrutor i Region Syd, Kalmar, Öst och Mitt. P-värde (år): 0,0001*. Antal mätningar på X-axeln och statistisk signifikans över staplarna. Data från 2014-2025.....	37
Figur 11. Kväveupptag vid utvecklingsstadium DC 55 i höstvetete med höstraps som förfrukt, 2014 – 2025. Medelvärde för nollrutor i Region Syd, Kalmar, Öst och Mitt. P-värde (år): 0,0001*. Antal mätningar på X-axeln och statistisk signifikans över staplarna. Data från 2014-2025.....	38
Figur 12. Genomsnittlig ackumulerad nederbörd för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i region Syd 01/01 – 01/07, 2020–2025. Information samlad från SMHI.....	49
Figur 13. Genomsnittlig ackumulerad nederbörd för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i region Mitt 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.....	50
Figur 14. Genomsnittlig ackumulerad nederbörd för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i Region Öst 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.....	51
Figur 15. Genomsnittlig ackumulerad nederbörd för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i region Kalmar 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.....	52
Figur 16. Genomsnittlig temperatursumma för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i Region Syd 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.....	53
Figur 17. Genomsnittlig temperatursumma för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i Region Mitt 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.....	54
Figur 18. Genomsnittlig temperatursumma för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i Region Öst 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.....	55
Figur 19. Genomsnittlig temperatursumma för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i Region Kalmar 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.....	56

Förkortningar

Ts	Torrsubstans
N	Kväve
C	Kol
C/N-kvot	Kol/Kväve kvot
LL	Lättlera
ML	Mellanlera
SL	Styv lera
mf	Mullfattig
nmh	Något mullhaltig
mmh	Måttligt mullhaltig
mr	Mullrik

1. Inledning

År 2025 var antalet jordbruksföretag i Sverige 54 723, en minskning med 677 företag från föregående år (Jordbruksaktuellt 2025). Sedan 2010 har antalet företag minskat med 23%. Faktorerna som spelar in i detta är många, i synnerhet den minskade lönsamheten. För jordbrukare är en av de mest kostsamma insatsmedlen kvävegödsel (Lorentzson 2023), så en effektiv användning av detta är centralt i att minska kostnader i företaget.

Kväve är ett centralt näringsämne för grödornas tillväxt. Dock är det även ett grundämne som orsakar övergödning i vattendrag. Läckage av detta, och även av andra näringsämnen, är ett stort miljöproblem. Därför är ett av Sveriges miljömål att minska läckaget från jordbruksmark (Sveriges miljömål 2025), vilket går i linje med FN:s hållbara utvecklingsmål, speciellt nummer 12 om effektiv förvaltning av resurser och nummer 14 om minskad utlakning av näringsämnen (United Nations 2015). För att minska läckaget av näringsämnen från jordbruksmark är det centralt att anpassa den tillförda näringen till vad den odlade grödan faktiskt behöver, och därigenom öka utnyttjandegraden.

För att öka utnyttjandegraden pratar forskare om kväveeffektivitet. Detta mäts på många olika sätt (Congreves et al. 2021) men handlar ofta om en kvot mellan det tillförda kvävet plus det tillgängliga kvävet i marken och kvävet som tas bort från fältet i form av skördad gröda (Yara 2019). Alltså är det vid planering av gödselstrategi nödvändigt att veta hur mycket näring som tillförs till fältet, samt hur mycket näring som beräknas finnas i marken.

För att underlätta styrningen av tillförd näring finns det precisionsredskap. Moderna gödselspridare, kombinerat med styrfiler från en USB-sticka och GPS från satelliter, tillåter en mer exakt tillförd näring för att jämna ut skillnader i kvävebehov i fält. Med hjälp av sektionsavstägning kan spridaren förhindra spridning där gödning redan är tillförd. Beräkning av det upptagna kvävet, samt det potentiella upptaget, kan göras med hjälp av Yaras N-Sensor eller N-tester, och även av satellitbilder från exempelvis CropSat.

I samband med den förbättrade precisionen i tillförd näring finns även redskap för att bestämma den lagrade näringen i jorden samt dess tillgänglighet. För att få en förståelse för detta rekommenderar Jordbruksverket (2010) att ta ett jordprov per hektar vart 10:e år. Vidare, för en visuell bedömning av det tillgängliga kvävet i marken använder sig många lantbrukare i Sverige idag av nollrutor, d.v.s. några kvadratmeter av ett fält som inte gödslas. En jämförelse mellan hur tillväxten ser ut i fältet och hur det ser ut i nollrutan bedöms utifrån tre huvudsakliga aspekter.

Den första är skillnaden i färg, en grön färg som är jämförelsevis ljusare i nollrutan tyder på en lägre kväveleverans från marken jämfört med det potentiella upptaget. Det andra är tillväxten, då en lägre gröda i nollrutan kan tyda på näringsbrist. Slutligen bedöms även tätheten i grödan, då en gröda utan näringsbrist ofta bestockar sig mer. Detta är en välkänd teknik som används av många lantbrukare i landet i syfte av att bättre förstå markens kväveleverans under olika förhållanden, dock kan erfarenhet av hur en välgödslad gröda bör se ut vara nödvändig för att kunna tolka kväveleveransen från marken rätt.

Utöver den visuella bedömningen som kan göras i nollrutor gör Jordbruksverket mätningar av vissa utvalda fält med en handburen N-Sensor. Detta tillåter nollrutornas kväveupptag att bli omvandlat till ett faktiskt värde som sedan läggs in i en databas, vilken är grunden till detta arbete. Från maj till juni tar de mätningar med denna handburna N-Sensor (framtagen av Yara) som skannar fälten genom att mäta klorofyllhalt samt biomassa per ytenhet och översätter värdet till kg upptaget N ha⁻¹ i grödan. Sedan antecknar sensorbäraren vilket utvecklingsstadium grödan är i. Mätningar görs i höstvet, både i nollrutor samt i fält för att se markens kväveleverans jämfört med kväveleveransen från gödseln. Mätningarna tas i fem olika regioner: Syd (Skåne och Halland), Kalmar (Kalmar och Öland), Väst (Västergötland och Värmland), Öst (Östergötland och Småland) och Mitt (Mälardalen). Förutom värden från nollrutemätningar finns data om förfrukt, höstvetesort, sådatum, mineralkvävegivor, ler- och mullhalt, samt om organiskt gödsel vanligen sprids på fälten.

Jordbruksverket (2025b) har rekommendationer för gödsling med en anpassning beroende av skördepotentialen och den proteinhalt man vill uppnå, med anpassningar beroende av förfrukten. Dessa rekommendationer är dock medelvärden utifrån hela Sverige, och tar inte hänsyn till lokala variationer. Jordarten spelar en stor roll i kvävetillgängligheten i marken, då ler- och mullhalten påverkar jordens termiska egenskaper och förmåga att infiltrera och lagra vatten. Detta gör att jordarna reagerar olika på vädret, vilket i sin tur påverkar kväve mineraliseringen. Alltså är nollrutor viktiga för att kunna få en bättre förståelse för hur kväveleverans skiljer sig mellan fält, vilket har ett direkt samband med grödans potentiella kväveupptag.

Lovisa Nissen (2020) har sammanfattat Jordbruksverkets nollrutemätningar från 2013 – 2019. Hennes frågeställning fokuserade på hur väder, jordart och förfrukter påverkar kväveupptag. Hennes utvärdering av datamaterialet uppvisade en skillnad i kväveupptag beroende av förfrukt, dock hittade hon ingen signifikant påverkan av ler- eller mullhalter. Hon hittade heller inte en signifikant påverkan av temperatursumma eller ackumulerad nederbörd på kväveupptaget i nollrutorna.

Detta arbete analyserar variationen i kväveupptag i höstvet beroende av förfrukten, ler- och mullhalten, samt årsvariationen med data från Jordbrukverkets nollrutemätningar från åren 2013 – 2025. Som stöd för diskussioner kring datananalysen har en litteraturstudie om olika kväveprocesser i marken gjorts.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med denna studie är att analysera hur olika förfrukter och jordarter påverkar kväveupptaget i nollrutor i höstvetefält, hur upptaget skiljer sig mellan de analyserade åren, samt om skillnader mellan åren kan förklaras av respektive års väderlek. Skillnaden mellan denna studie och den av Nissen (2020) är att vi nu har ett bredare underlag på en liknande frågeställning tack vare ytterligare års insamlade data. Fokus på förfrukterna vid analys av nollrutemätningarna är höstraps, höstvet och ärt. De lerhaltskategorierna som analyseras är lättlera (LL), mellanlera (ML) och styv lera (SL), och mullhaltskategorierna är mullfattig (mf), något mullhaltig (nmh), måttligt mullhaltig (mmh), samt mullrik (mr).

Studien har sökt att besvara frågorna:

1. Vad är det förväntade kväveupptaget hos höstvet efter förfrukten höstraps och ärt i jämförelse med höstvet?
2. Har ler- eller mullhalt en tydlig påverkan på kväveupptag i höstvetefält?
3. Hur skiljer sig kväveupptaget i nollrutorna mellan år?
4. Vilken faktor har störst påverkan på kväveupptaget?

Min hypotes är att de valda förfrukterna kommer att påverka kväveupptaget i höstvet positivt (1). Vidare förväntar jag mig att fält med lägre lerhalt kommer att ha större kväveleverans tidigt på säsongen, men de styvare jordarna kommer att ha större total kväveleverans vid senare stadier (2). Jag förväntar mig att de år som haft lägre temperaturer jämfört med normaltemperaturer, och inte varit utsatta av långa torrperioder kommer att ha högre kväveupptag (3). Slutligen förmodar jag att väderförhållanden är det som påverkar kväveupptaget mest, alltså kommer kväveupptaget skilja sig mer mellan åren än beroende på förfrukt eller jordart (4).

2. Bakgrund

2.1 Höstvete

Höstvete spelar en central roll i Sveriges jordbruk och spannmålsodling. Det är en av de högst avkastande grödorna och har haft ett relativt stabilt pris genom åren. År 2025 odlades 464 300 hektar höstvete i Sverige, 72% av den höstsådda arealen i landet det året (Jordbruksverket 2025a).

Höstvete behöver utsättas för en kall period mellan 0 – 10°C för att vernalisera, vilket innebär att vetet kan gå från en vegetativ till en reproduktiv fas. Vernaliseringsperioden skiljer sig mellan sorter (Bowden 2008). Höstvetets avkastning kan delas upp i komponenterna plantor per ytenhet, ax per planta, småax per ax, kärnor per ax och medelkärnvikt. Kärnanatalet per ytenhet har normalt större betydelse för avkastningen än kärnstorleken (Bergkvist 2014).

Variationen i avkastning mellan år är direkt påverkad av väder. Utvecklingshastigheten ändrar sig nästan linjärt med en ökad temperatur, men tillväxthastigheten blir inte lika påverkad (Bergkvist 2014). För optimal tillväxt krävs god tillgång till resurser (näring & vatten) och en temperatur vid 20°C. Vid en för hög utvecklingshastighet kan bildade strukturer inte hinna växa till sig tillräckligt, vilket kan leda till en stor minskning av den potentiella avkastningen. Vid god kvävetillgång under bestockningsstadierna (20-29) kan det vara gynnsamt med lite svalare väder (under 20°C) så att avkastningskomponenterna kan maximeras. Höstvetet har som störst kväueupptag vid utvecklingsstadierna 30-37, dvs under stråskjutningen (Bowden 2008; Yara 2017; Jordbruksverket 2025b). Även här är det bättre för avkastningen och kväve-effektiviteten om det är svalare temperaturer så att höstvetet hinner ta upp allt det kväve som den behöver för att producera en stabil struktur och ax till alla skott.

Vid en ensidig odling av höstvete kan sjukdomar som stråknäckare eller rotdödare vara ett stort problem (Sieling & Christen 2015), och höstgroende ogräs som renkavle eller baldersbrå kan leda till att utförlig ogräsbekämpning krävs (Jordbruksverket u.å; Lundkvist 2014). Utöver detta visar odlingsförsök tydligt på en skördeökning i höstvete efter vissa förfrukter (Bergkvist & Friberg 2010; Lindén & Engström 2006; Engström & Gruvaeus 1998), ibland även vid minskad tillförsel av kväve.

2.2 Kväve i marken

2.2.1 Förekomst

Kväve är ett makronäringsämne som utgör 1-5% av växters torrsvikt (Marschner 2012). Det är ofta en skördebegränsande faktor och spelar en central roll i kvalitetsutvecklingen i höstveteodling (Fogelfors 2015).

I marken förekommer kväve främst i organisk form. Det organiska kvävet består främst av aminosyror, aminosocker och bundna ammoniumjoner (Havlin 2014), och härstammar från nedbruten förra. Den genomsnittliga kvävehalten i odlingsjordarnas organiska material är ca 5 viktprocent. Detta innebär att i en mmh jord är den totala mängden kväve ca 6 ton per hektar (Fogelfors 2015). Dock är inte allt detta kväve växttillgängligt, då endast en bråkdel av det blir tillgängligt varje år genom mineralisering.

Den bråkdel av markkvävet som förekommer i oorganisk form finns i marklösningen som lösta joner: nitrat (NO_3^-), eller ammonium (NH_4^+). Nitrat förekommer generellt i högre koncentrationer i konventionellt odlade jordar i Sverige och är den mest lättupptagbara form av kväve för många jordbruksväxter (Marschner 2012; Weidow 2018; Havlin 2014). Ammoniumets positiva laddning gör det benäget att adsorberas till markens negativt laddade partiklar. I lermineral såsom vermikulit och illit riskerar ammonium till och med att fixeras (Eriksson et al 2011). Illit är det kvantitativt viktigaste lermineralet i Sverige. Dessa lermineral är uppbyggda av milt vittrade 2:1 skikt som har en stor katjonbyteskapacitet. Ammonium kan fixeras i 2:1 skikten och är då inte tillgängligt för växterna. I fall marklösningen innehåller en stor andel ammonium, och marken innehåller en stor del illit, blir risken för fixering större. Den fixerade ammoniumhalten kan motsvara mellan 5-10% av det totala markkvävet i matjorden, och 20-40% av kvävet i alven, vilket minskar risken för utlakning i dessa jordar.

2.2.2 Mineralisering och immobilisering

Mikroorganismerna i marken fyller en central roll för kvävet tillgänglighet, då de kan mineralisera organiskt kväve, och immobilisera mineralkväve. Mineraliseringen är främst en aerob process, men mikro-organismer kan även utföra processen anaerobt. Vid varmare förhållanden samt med kontinuerlig tillgång till vatten och syre i marken ökar den mikrobiella aktiviteten, och mineraliserings-hastigheten ökar som följd av detta (Kätterer & Karlsson 2012). Alltså blir dessa processer som mest aktiva under sommaren och tidig höst.

Mineraliseringen styrs inte enbart av temperatur och fukt, utan påverkas även av materialets sammansättning. Ifall det organiska materialet är kväverikt, och alltså har en låg C/N-kvot, omsätter mikroorganismerna detta material och utsöndrar överskottet av kväve i mineralform till marklösningen, så kallad mineralisering (Eriksson et al. 2011). C/N-kvoten varierar även beroende av växtens utvecklingsstadium, då äldre grödor producerar en högre andel kol-rika fibrer. Grödor i tidigare utvecklingsstadier har mindre utvecklad struktur och därför mindre fibrer, i synnerhet lignin. Detta gör att materialet har en lägre C/N-kvot och är lättnedbrutet i jämförelse med äldre grödor (Mengel 1996). C/N-kvoten varierar även mellan växtslag och arter, med en generellt lägre kvot hos baljväxter än hos stråsäd.

Om det organiska materialet å andra sidan har en hög C/N-kvot finns det tillräckligt med energi och byggstenar (i form av kol, C) för att mikro-organismer ska immobilisera det organiska kvävet, vilket försenar nettomineraliseringen. Över längre tid nettomineraliseras det organiska kvävet i marken, men på kort sikt, beroende på C/N-kvoten i det organiska materialet, så kan kvävet immobiliseras (Fogelfors 2015). Detta innebär att förfruktens C/N-kvot spelar en central roll för när kvävet kommer att mineraliseras, och den totala biomassan hos förfrukten som blir kvar på fältet påverkar den totala mängden kväve som kan mineraliseras.

2.2.3 Nitrifikation och denitrifikation

Nitrifikation är en biologisk process som sker under aeroba förhållanden och utförs av olika mikroorganismer, både bakterier och arkéer, som oxiderar kvävet i främst ammoniak till nitrat. Vid lägre pH sker nitrifikationen i mindre skala då denna reaktion är beroende av jämvikten mellan ammonium och ammoniak vilket har en pKa på 9,9 vid 10° C (Eriksson et al. 2011). Detta innebär att ammonium

dominerar vid lägre pH, vilket gör att ammoniak blir mindre tillgängligt för nitrifiering.

Vid anaeroba eller delvis anaeroba förhållanden kan motsatsen ske, denitrifikation. Denna reaktion reducerar kvävet i nitrat i flera steg, vilket ofta leder till en gasavgång av kväve i form av kvävgas (N_2), lustgas (N_2O) eller kväveoxid (NO). Denna ofullständiga reduktion gynnas av lågt pH (Eriksson et al 2011), och orsakar stora kväveförluster i åkermark.

2.2.4 Kväveförluster

Nitrat har en stor risk för utlakning i svensk jordbruksmark. I alla svenska jordar är markpartiklarna, precis som nitrat, negativt laddade. Till följd av detta blir jonen mycket rörlig i marken (Eriksson et al. 2011). Aronsson & Torstenssons (2004) försök visar på en medelförlust av kväve i form av utrinning i jordar med 15 – 25% lera till 25 kg N ha^{-1} . Vidare uppskattar Mårtensson et al. (2021) den genomsnittliga årliga utlakningen av kväve till 40 000 ton från den svenska åkermarken.

Även vid aeroba förhållanden kan kväve avgå i gasform, dock avgår bara mindre än en procent av kvävet som nitrifieras i form av lustgas. Däremot, vid anaeroba förhållanden ökar denitrifikationen kraftigt. Den genomsnittliga förlusten av kväve i lustgas-form skattas som orsak av detta i Sverige till $30\text{--}40 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Fogelfors 2015).

2.2.5 Jordartens betydelse

Både ler- och mullhalt har en stor påverkan på dessa nämnda kväveprocesser, och har därmed en stor betydelse för växttillgängligheten av markkvävet. Till att börja med har de en påverkan på jordens struktur. Med en stigande ler- och mullhalt förbättras jordens förmåga att bilda aggregat. Detta kan förklaras med att lermineral och humus påverkar jordens fysikaliska och kemiska egenskaper. Både lermineral och humus är negativt laddade, har hög katjonbytkapacitet (CEC), och kan bilda kolloider. Tillsammans med positiva joner agerar de som ett bindemedel mellan jordpartiklar (Fogelfors 2015; Eriksson et al. 2011). Alltså spelar mullhalten en central roll i strukturbildning, särskilt i lättare jordar. Med ökad aggregatbildning ökar andelen stabila micro- och makroporer, vilket förbättrar gasutbytet och den hydrauliska konduktiviteten i jorden (King et al. 2020). Detta skapar i sin tur en mer gynnsam miljö för rötternas tillväxt vilket

underlättar grödornas näringsupptag. Även mikroorganismer har en säkrare tillgång till syre vilket kan stimulera kväveminaliseringen och minska risken för denitrifikation.

Sambandet mellan mull- och lerhalt och grödornas kvävetillgång bekräftas även av Mattsson (1999), som analyserade ca 300 fältförsök med fokus på kväveleverans beroende av dessa markegenskaper. Hans resultat visar att man kan förvänta sig ett ökat kväveupptag i stråsäd med 2.5 kg N ha^{-1} per % ökad mull. I lerjordar, där han förutsätter att rötterna hade mer gynnsam tillväxt och därför högre kväveeffektivitet, ansåg han att det ökade upptaget var på 3.5 kg N ha^{-1} . Vidare bekräftade Kätterer & Karlsson (2012) att det finns en positiv korrelation mellan mullhalt och kväveleverans i ogödslade system.

Dock är aggregatbildningens effekt på kväveprocesser inte entydig. Adu & Oades (1978) visade att bildning av aggregat i sandjordar kan göra organiskt material svårtillgängligt för mikroorganismer. Detta beror på att mikroporerna är så små i diameter att de blir ogenomträngliga för bakterierna. Däremot, i lerjordar observerades bildning av större aggregat som inte begränsade tillgängligheten av det organiska materialet. Detta förklarades genom de större aggregatens stabilare struktur, de bestod av både micro- och makroporer, vilket underlättade gasutbytet och mikroorganismerna hade en mer kontinuerlig tillförsel av syre.

Samtidigt visar annan forskning att större aggregat kan ha negativa effekter på kvävetillgängligheten. Schlüter et al. (2018) inokulerade jordaggregat med fakultativt anaeroba bakterier (*Agrobacterium tumefaciens*) för att mäta påverkan av aggregatstorleken (3,5 eller 7 mm i diameter) på den anaeroba kväveomsättningen. Deras undersökning visade att de större aggregaten gav upphov till högre utsläpp av lustgas vilket förklarades av att större aggregat utvecklar en större anoxisk zon (syrefattig miljö) i sitt centrum. Dessa zoner förblir syrefattiga även om aggregaten befinner sig i matjorden i en väl-dränerad och syrerik jord.

Vidare kan en hög mullhalt i kombination med en syrefattig mark öka denitrifikationen drastiskt. Det organiska materialet agerar bränsle till mikroorganismerna, som vid syrebrist tar till alternativa syrekällor såsom nitrat. Detta kan, vid rätt temperatur och vattenhalt, leda till att nitrat reduceras i snabb takt till lustgas (Henriksson et al. 2015). Alltså kan en hög mullhalt i kombination med en hög lerhalt orsaka kväveförluster i form av denitrifikation, särskilt i lerjord som inte är väl-skött (icke-dränerad och packad) eftersom en sådan löper större risk att vara vattenmättad än en lättare jord. Samtidigt har organiskt material en hög elasticitet och ökar resiliensen mot just markpackning (Hamza & Anderson 2005).

Lerhalten påverkar även risken för kväveutlakning. En stigande lerhalt minskar risken för utlakning av nitrat över vintern. Proteiner som krävs vid mineralisering binder sig lätt till både ler- och humuspartiklar (Bonmatí et al. 2009; Mengel 1996), vilket gör dem mindre tillgängliga för mineralisering. Alltså minskar mineraliseringshastigheten, och då minskar även risken för att kväve lakas ur jordprofilen. Dock är bindningen reversibel, så vid starka förändringar i temperatur, fuktighet eller pH kan proteinerna återigen bli tillgängliga för mineralisering. Sammantaget innebär detta att jordar med högre lerhalt har en god förmåga att bygga upp näringsförråd, men de kräver en god dränering för att motverka denitrifikation. Dessutom påvisar Kätterer & Karlsson (2012) att under torra förhållande spelar även lerhalten roll i andel växttillgängligt kväve i marken, då en ökad lerhalt visar direkt korrelation med ökad vattenhushållning, och Mengel (1996) bekräftar den minskande mineraliseringsaktiviteten vid torra perioder.

I sandiga jordar har nitrat en betydligt större benägenhet att lakas ut (Mengel 1996), vilket främst beror på att jordarten domineras av enkelkornstruktur (Eriksson et al. 2011). Dessa har en hög hydraulisk konduktivitet, och syretillgången i marken är god. Detta innebär att denitrifikationen vanligen är låg, och mineralisationen av organiskt bundet kväve sker snabbare än i styvare jordar (Mengel 1996). Följaktligen tenderar det organiskt bundna kvävet som lämnas kvar efter skörd på hösten eller sensommaren att mineraliseras snabbt, vilket ökar risken för utlakning efter jordbearbetning eller under en blöt vinter utan en gröda på fälten.

Sammanfattningsvis spelar samspelet mellan ler- och mullhalt en avgörande roll i markens kvävedynamik. Aggregatbildning kan främja gasutbytet i marken, men i vissa fall kan även kväveförluster i gasform öka. En konflikt mellan kväveförluster finns mellan olika lerhalter, exempelvis löper jordar höga lerhalter större risk för kväveförluster i gasform, samtidigt som jordar med låga lerhalter löper större risk för kväveförluster genom utlakning.

2.3 Förfruktseffekter

Att variera växtföljden för att gynna växtodlingen är ett känt begrepp. Det finns nedskrivna argument för det hela vägen tillbaka till 400 f.Kr., där Theophrastus i forntida Grekland skrev: "Vete utarmar jorden och bönor verkar till och med gödsla marken!" (Angus et al. 2015). Drygt två millenier senare, år 1845 gjorde Daubeny ett 10-årigt försök med olika växtföljder och märkte att grödor som odlas med en varierad växtföljd fick en högre avkastning 3 gånger av 4 (Angus et

al. 2015). Trots dessa historiska lärdomar finns det ekonomiska incitament som kan uppmuntra till en ensidig växtföljd. Till att börja med är marknaden gynnsam för vissa specifika grödor. Detta gäller exempelvis för vete som är en efterfrågad gröda med ett jämförelsevis stabilt pris. Uppnås inte brödkvalitén på vetet är foderpriset inte så långt under. Med tillgång till billiga insatsmedel i förhållande till skördens avsalupris är lantbrukare mindre beroende av de positiva effekter en planerad växtföljd kan bidra med (Sieling & Christen 2015)

Det finns dock många fördelar med en varierad växtföljd, då vissa gröders förfruktseffekter kan leda till ett minskat behov av insatsmedel till kommande gröda, och samtidigt öka avkastningen på denna. Det finns tre stora anledningar till detta, vilket kan förklaras med att förfrukterna bidrar med sjukdomssanerande effekt, ökad mineralisering av kväve, samt en förbättring av markstrukturen. Den allmänt accepterade största anledningen till en ökad skörd efter en avbrottsgröda i höstvete är att det blir ett avbrott av värdväxter för stråknäckare och rotdödare (McEwen et al. 1990; Lindén & Engström 2006; Kirkegaard & Ryan 2014).

För att mäta en grödas förfruktseffekt används ofta fältförsök med kvävestege. Genom att odla en huvudgröda med olika kvävegivor och olika förfrukter kan man få en bild av hur förfrukterna påverkar huvudgrödan. För att göra dessa försök ekonomiskt relevanta används priskvoter. En priskvot beskriver skillnaden mellan inköpspris av gödsel och avsalupris av skörden. En priskvot på 10 innebär exempelvis att inköpspriset på N-gödsel på 10 kr kg⁻¹ och ett spannmålspris på 1 kr kg⁻¹.

Jämförelser av optimal gödslingsgiva och avkastning på höstvete beroende av förfrukt visar tydligt att höstraps och ärt är gynnsamma förfrukter till höstvete (Kirkegaard & Ryan 2014; Angus et al. 2015; Sieling & Christen 2015), och en ensidig växtföljd av höstvete utan avbrottsgrödor visar en negativ påverkan på dess avkastning (Sieling & Christen 2015; Lindén 2017; Shah et al. 2021).

Kväveupptaget och mängden kvarlämnat mineralkväve i marklösningen varierar mellan grödor, vilket har direkt påverkan på kvävetillgången till nästkommande gröda. Lindén och Engström (2006) visade en skillnad på kväveinnehåll i marken mellan olika grödor. De tog prover i marken vid skördemognad i höstraps, ärt och höstvete, vilka visade innehåll på 53, 45, respektive 29 kg N ha⁻¹ i markens översta 90 cm. En anledning till varför fältet med höstraps hade högst kvävenivåer i marken kan vara att rapsen redan efter blomningen börjar tappa blad, vilket, då dessa bryts ned, leder till ett tillskott av mineralkväve i marken.

På hösten, efter skörd av grödorna, ökade mineralkväveförråden i samtliga fält, 15 kg N ha⁻¹ i jorden med höstraps och havre, och 20 kg N ha⁻¹ i jorden med ärt. Ärtens relativt låga C/N-kvot (Tabell 1) i kombination med dess grunda rotsystem och förmågan att fixera kväve genom en symbios med kvävefixerande bakterier, innebär att grödan i mindre utsträckning tömmer markens kväveförråd (Fogelfors 2015). Den låga C/N-kvoten innebär även en snabbare mineralisering av skörderesterna (Lindén & Engström 2006).

Tabell 1. Minimum-, maximum- och medelvärden för C/N-kvot i halm hos höstraps, ärt och havre. Data från Lindén & Engström 2006

Förfrukt	C/N kvot: min.	C/N kvot: max	C/N kvot: medel
Höstraps	48	99	77
Ärt	35	74	50
Havre	72	119	94

En varierad växtföljd med grödor som har jämförelsevis större rötter bidrar även med en förbättrad markstruktur genom ökad aggregatbildning och ökad förekomst av biopor. Detta leder till bättre vattenhushållning och en bättre rottillväxt, vilket i sin tur kan förbättra växtens näringsupptag (Perkons et al. 2014; Shah et al. 2021; Arnhold et al. 2023).

Sammanfattningsvis lämnar inte en bra förfrukt bara efter sig organiskt kväve, utan detta kväve ska kunna mineraliseras vid tidigt stadium för huvudgrödan för att förbättra etableringen. Samtidigt ska förfrukten kunna göra kväveupptaget mer effektivt, genom sanering av sjukdomar samt en förbättring av markstrukturen.

2.3.1 Höstraps

Höstraps betraktas som en av de bästa förfrukterna till höstvet, vilket har visats i ett flertal fältförsök. Orsakerna till dess positiva effekter är flera. Primärt har den en sjukdomssanerande effekt, sedan har den stora rötter som kan förbättra markstrukturen, och slutligen en stor total biomassa i kombination med en jämförelsevis låg C/N-kvot vilket tillåter skörderesterna att mineraliseras tidigt till nästkommande gröda. Vidare bekräftade Lindén & Engström (2006) en ökad kväveutlakning från fält under vinterhalvåret efter skörd av höstraps, vilket tyder på en stor ansamling av nitratkväve i marken efter mognaden. En höstgröda kan då minska utlakningen.

Engström & Gruvaeus (1998) sammanfattade 160 försök med olika förfrukter för att se skillnaden i kärnskörd hos höstvet. En liknande sammanfattning gjordes av

Lindén och Engström (2006) som sammanfattade nio tvååriga fältförsök som genomfördes i södra Skåne 1999 - 2004 och där jämförde merskörden i höstvet beroende av förfrukten. Båda analyserna påvisade en ökad tillgång till kväve för höstvetet som motsvarar i medel 38 kg N ha⁻¹ (i form av mineralgödsel). Självfallet var det en stor variation mellan tillgången som de tror beror på jordart, jordbearbetning, såteknik och årsmån. Vidare ökade skörden av höstvetet i medel med drygt 1000 kg ha⁻¹ i Engström & Gruvaeus (1998) analys, och 1210 kg ha⁻¹ i Lindén & Engströms (2006) försök.

Dessutom bidrar rapsens stora rotsystem med en större uppluckring av jorden upp jämfört med vetets mindre rotsystem. Efter skörd lämnas rötterna i jorden och, utöver att luckra upp jorden, skapar rötterna bioporer som kan bidra till att förbättra markstrukturen, vilket i sin tur gör att vetets rötter kan växa lättare (Arnhold et al. 2023). Detta underlättar både närings- och vattenupptag.

Sammanfattningsvis visar både Lindén & Engströms (2006) samt Engström & Gruvaeus (1998) försöksanalyser värden på minskat behov av mineralkvävegödsel som är nära Jordbruksverkets beräkning på 40kg N ha⁻¹ (Jordbruksverket 2025b) för höstvete efter förfrukten höstraps.

2.3.2 Ärt

Även ärt räknas som en av de bästa förfrukterna till höstvete. Den har en sjukdomssanerande effekt på stråsädssjukdomar (Angus et al. 2015), och är en vårgroda, vilket försvårar etableringen av höstgroende ogräs, såsom råttsvingel och renkavle (Lantbruksnytt & Niléhn 2025).

Analyser om ärt som förfrukt till höstvete påvisar en minskning på den optimala kvävegivan till höstvetet med 29 kg N ha⁻¹ (Lindén & Engström 2006; Lindén 2008). Vidare påvisas en förväntad skördeökning med ärtor som förfrukt till höstvete i jämförelse med höstvete som förfrukt i medel med 1000 kg ha⁻¹ (Lindén & Engström 2006; Angus et al. 2015).

2.4 Årsmån 2020 – 2025

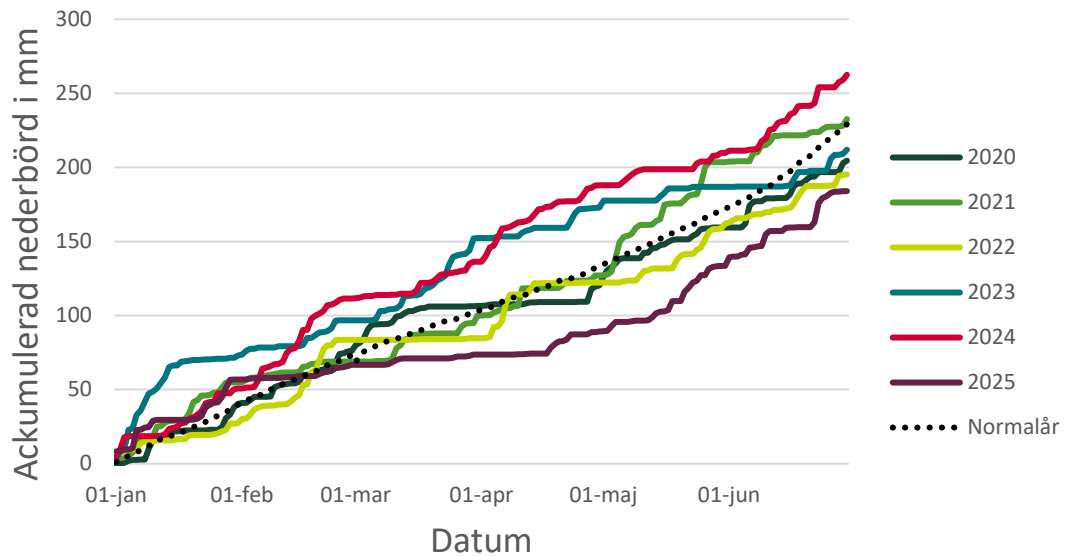
2.4.1 Nederbörd

Region mitt hade högst medelnederbörd under första halvåret mellan 2020 – 2025 (Tabell 2). Medelnederbörden dessa år var lite lägre än normalvärden (baserat på data från 1990 – 2020) för dessa regioner, förutom i region Mitt där nederbörden låg strax över normalvärdet (18 mm). Störst nederbörd hade region Syd år 2024 med 316 mm, och lägst nederbörd hade region Kalmar år 2022.

Tabell 2. Ackumulerad nederbörd under årets första sex månader i olika regioner i Sverige angiven som medel-, maximum-, och minimumvärden för åren 2020 – 2025 samt normalvärden för perioden 1990 – 2020. Alla värden är i mm. Data tagna från SMHI

<i>Region</i>	<i>Medel</i>	<i>Normal</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>
<i>Syd</i>	227	270	316	156
<i>Mitt</i>	241	223	289	294
<i>Öst</i>	217	223	273	178
<i>Kalmar</i>	188	203	244	110
<i>Medel</i>	218	230	281	185

Vidare var år 2025 det i genomsnitt för områdena torraste året, och 2024 det blötaste (Figur 1). År 2023 hade väldigt mycket nederbörd i början på året, men minskad nederbörd i maj och juni vilket gjorde att detta år hade lite mindre nederbörd än ett normalår tillslut. År 2021 hade mycket nederbörd i maj och juni med nästan 100 mm.



Figur 1. Medelvärde för genomsnittlig ackumulerad nederbörd för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i region Syd, Mitt, Öst och Kalmar. 01/01 – 01/07, 2020–20205. Data tagna från SMHI

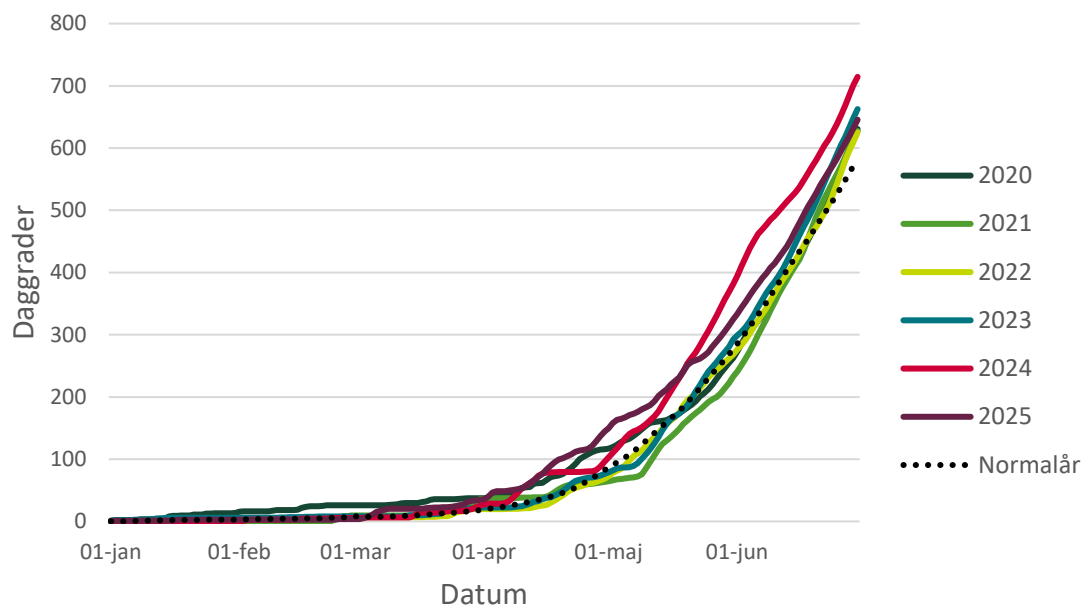
2.4.2 Temperatur

Samtliga uppmätta antal daggrader baseras på dagar med en temperatur som överstiger 5 °C från början på året fram till och med juni. Samtliga analyserade halvår, även de med lägst temperaturer, visade högre antal daggrader än normalåren (Tabell 3). Varmaste medeltemperatur visade region Syd, vilken även visade högst maxvärde på 835 daggrader år 2024. Lägsta uppmätta daggrader var i region Mitt år 2025. Med tanke på deras geografiska skillnader är detta inte förvånande.

Tabell 3. Sammanfattning av daggrader i olika regioner för perioden 01/01 – 01/07 år 2020 – 2025. Alla värden är i grader Celsius. Data tagna från SMHI

<i>Region</i>	<i>Medel</i>	<i>Normalår</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>
<i>Syd</i>	755	675	835	707
<i>Mitt</i>	611	575	615	579
<i>Öst</i>	627	556	694	598
<i>Kalmar</i>	622	575	679	586
<i>Medel</i>	654	595	706	618

Medelvärde av alla undersökta regioner visar tydligt att 2024 var det varmaste året (Figur 6). Däremot var 2025 lite varmare under några veckor från slutet på april. 2021 var kallare än normalåret mellan maj och mitten på juni.



Figur 2. Medelvärde för temperatursumma för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i region Syd, Mitt, Öst och Kalmar. 01/01 – 01/07, 2020–2025. Data tagna från SMHI

3. Material & metod

3.1 Datakällor

Datan som har använts i dethär arbetet har tagits fram av Jordbruksverket i samarbete med lantbrukare. Datan är baserad på mätningar i nollrutor grorda med en handburen Yara N-sensor (Yara Digital Farming, Henningsdorf¹) i samband med information om de analyserade fälten som skickats in av lantbrukare.

3.2 Dataanalys

Data från mätningarna användes för att jämföra kväveupptag i höstvete beroende på:

- Förfrukt
- Mullhalt
- Lerhalt
- Årsmån

Mätningar från samtliga år och regioner slogs ihop vid mätning av förfrukt, mull- och lerhalt, vilket är 2014 – 2025. Dock presenteras årsmånen endast från åren 2020 – 2025.

Förfrukterna som analyserades var höstvete, höstraps och ärt. Där analyserades deras påverkan på kväveupptag i nollrutorna. Då mängden upptaget kväve ökar med höstvetets utveckling och tillväxt under säsongen grupperades mätningarna efter utvecklingsstadium. Data för näraliggande utvecklingsstadier (DC 22 – 27; 32 – 37; 47 - 55) poolades för att öka antalet observationer. Variansanalys gjordes för att utvärdera förfrukternas påverkan på kväveupptaget i nollrutorna, som separerades i de olika stadierna.

Analys av mull- och lerhaltens effekt på kväveupptag gjordes genom att fokusera på det poolade utvecklingsstadiet med flest mätningar, DC 37. De mullhalter som analyserades var mullfattig (mf), något mullhaltig (nmh), måttligt mullhaltig (mmh) och mullrik (mr) eftersom det endast fanns tillräckligt många observationer för dessa mullhalter. Lerhalterna som analyserades begränsades av samma anledning till lättlera (LL), mellanlera (ML) och styv lera (SL). Vid analys av dessa halter poolades mätningar från samtliga förfrukter. Vid påvisad statistisk

¹ <https://www.manualslib.com/manual/1318385/Yara-N-Sensor.html>

samspel av en förfrukt i samband med ler- eller mullhalt gjordes enskilda grafer för denna förfrukt. Två variationsanalyser var gjordes för ler- och mullhalt. Den första jämförde ler- eller mullhaltens påverkan på kväveupptag i samtliga nollrutor, den andra jämförde ler- eller mullhaltens påverkan på kväveupptag uppdelat i olika förfrukter: höstraps, höstvetete och ärt.

Årsmånen analyserades med hjälp av meteorologiska observationer från SMHI (SMHI u.å.). Dessa observationer kom ifrån en representativ väderstation från varje region, där nederbörd och temperatur analyserades. Endast 2020 – 2025 presenteras då 2014 – 2019 kan hittas i Nissens (2020) arbete. Normalkurvor gjordes baserat på data mellan 1990 – 2020. För nederbörden gjordes ackumulerade grafer av all dygnsnederbörden från årsskiftet till sista juni. Även för temperaturen gjordes ackumulerade grafer av dygnsmedel-temperaturen, men enbart de dagar då medeltemperaturen var över 5 °C.

Vid jämförelse av de olika åren användes endast mätningar från fält med höstraps som förfrukt, när höstvetetet var i det poolade utvecklingsstadiet DC 37. Detta för att det var de fält med mest mätningar och därför minskar risken för att de uppmätta värdena påverkas av okända faktorer. Därefter gjordes en variansanalys för att se årens påverkan på kväveupptag i höstvetetet.

Vid sortering av samtliga typer av data användes Excel. Däremot användes JMP vid statistisk utvärdering av data från nollrute-mätningarna, och för att göra grafer. Vid indikerad statistisk signifikans användes Tukey HSD-test för att identifiera skillnader mellan enskilda förfrukter, ler- och mullhaltsklasser respektive år.

3.3 Litteraturstudie

I litteraturstudien sammanfattades vetenskapliga artiklar, kurslitteratur och försöksredovisningar för att kunna diskutera resultaten som tagits fram av nollrutemätningarna från Jordbruksverket. Fokus låg därvid på kvävetets förekomst och tillgänglighet i marken, samt förfruktseffekten av höstraps, vall, och ärt, då dessa är de förfrukter med bäst förväntad effekt för höstvetete. Även havre förekommer i studien då det finns bra underlag till denna förfrukt i de texter som har sammanfattats. Dock kommer denna inte att tas upp i resultatet då det inte fanns tillräckligt med underlag i nollrute-mätningarna.

Arbetet grundar sig främst på vetenskapligt granskade artiklar samt några kurslitteraturböcker som har använts i vår utbildning. Utöver det har trovärdiga

källor som Jordbruksverket och Yara konsulterats. Litteratursökningen utfördes på databaserna Web of Science, Google Scholar, Primo och Science Direct. Därutöver har två ai-tjänster använts för att få fram flera källor, AstaAi2 och Gemini-Deep Research. På databaserna användes nyckelorden "förfrukt", "kväve mineralisering", "nitrifikation", "växtföljd", "kväveförluster", med mera. Ai-sökmotorerna matades in med en förklaring om vad arbetet skulle handla om, varefter ai:n uppgav olika förslag på akademiska texter som jag kritiskt granskade för att sedan använda.

4. Resultat

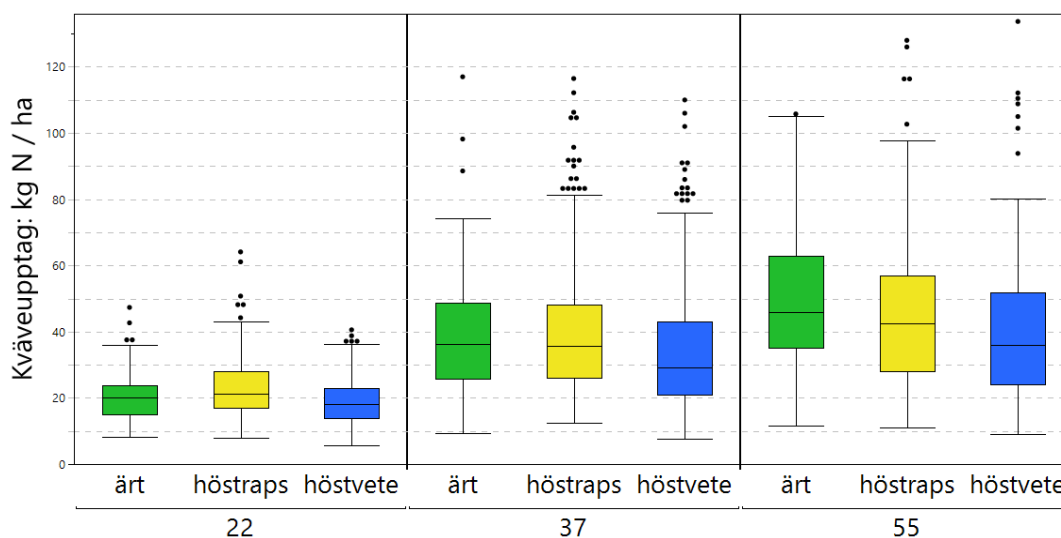
4.1 Förfrukt

Höstrapsen uppvisade högst positiv påverkan på höstvetets kväveupptag, och skilde sig statistiskt från höstvete vid utvecklingsstadium DC 22 och 37 (Tabell 4). Mycket överlappning och spridning förekommer vid samtliga förfrukter och stadier (Figur 14).

Vidare påvisar mätningarna ett högre medelvärde i kväveupptag med höstraps som förfrukt vid DC 22 med 23 kg N ha⁻¹ (Tabell 4). Men vid stadierna DC 37 och 55 hade förfrukten ärt högst medelvärde (39 kg N ha⁻¹ vid DC 37, och 50 kg N ha⁻¹ vid DC 55).

Tabell 4. Medelvärde (m.v.) och konfidensintervall 95% (k.i.) för kväveupptag i fält (kg N ha⁻¹) beroende på förfrukt och utvecklingsstadium (DC). P-värde DC 22: <.0001*, p-värde DC 37: 0,0094*, p-värde DC 55: 0,14. Statistisk signifikans uppvisas i parentes bredvid värdet för kväveupptag. Data från 2013-2025

DC	Ärt m.v	k.i	Höstraps m.v	k.i	Höstvete m.v	k.i
22	21 (AB)	19,2 – 22,5	23 (A)	22,1 – 24,4	19 (B)	17,9 – 19,8
37	39 (AB)	35,7 – 42,8	39 (A)	37,4 – 41	35 (B)	32,9 – 37,2
55	50 (A)	41,1 – 57,9	46 (A)	41,7 – 50,5	41 (A)	36,9 – 45,8

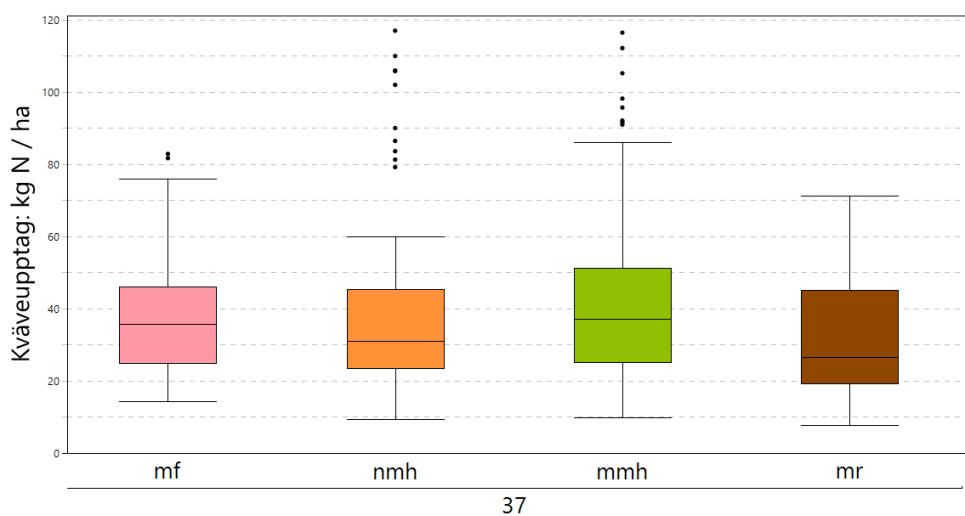


Figur 3. Kväveupptag i höstvete beroende på förfrukt. Ärt = grön, n(DC22)=81, n(DC37)=104, n(DC55)=35. Höstraps = gul, n(DC22)=235, n(DC37)=397, n(DC55)=121. Höstvete = blå, n(22)=235, n(DC37)=321, n(DC55)=114. P-värde DC 22: <.0001*, p-värde DC 37: 0,0094*, p-värde DC 55: 0,14. Statistisk signifikans i kväveupptag visades mellan Höstraps (A) och Höstvete (B) vid utvecklingsstadierna DC 22 & 37. Data från 2013-2025

4.2 Mullhalt

Majoriteten av fälten hade mmh-jord, och andel mr fält var få (Figur 4). Stor spridning i kväveupptag förekommer i höstvetet på samtliga mullhalter.

Fälten med måttlig mullhalt uppvisade vid DC 37 högst uppmätta medelvärden för kväveupptag (41 kg N ha^{-1}). De mullrika-fälten uppvisade lägst medelvärde (31 kg N ha^{-1}). De mullfattiga fälten hade 38 kg N ha^{-1} som medelvärde, och de något mullhaltiga fälten hade 37 kg N ha^{-1} i medelkväveupptag. Ingen statistisk skillnad uppvisades mellan de olika mullhalterna, oavsett förfrukt.



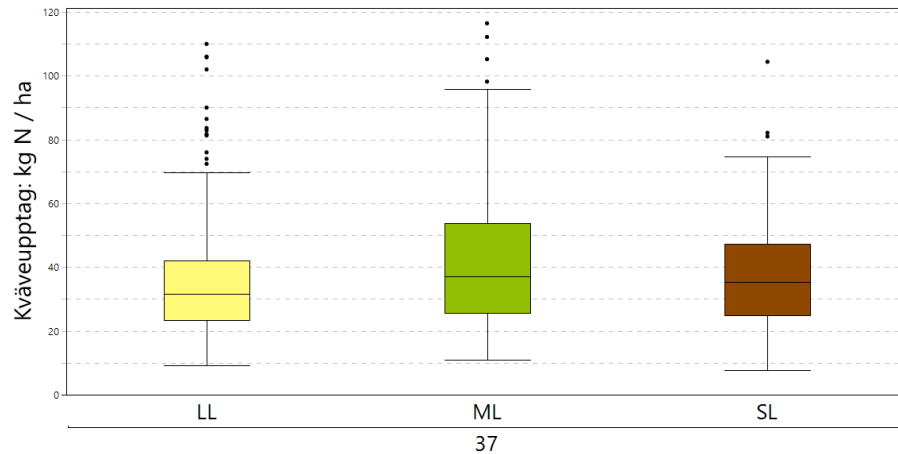
Figur 4. Mullhaltens påverkan på kväveupptag i höstvete i utvecklingsstadium 37 med ärt, höstraps och höstvete som förfrukt. Mullfattig (mf) = rosa, $n=50$; något mullhaltig (nmh) = orange, $n = 130$; måttligt mullhaltig (mmh) = grön, $n = 331$; mullrik (mr) = brun, $n = 33$. P -värde: $0,041^*$. Ingen statistisk signifikant skillnad i kväveupptag visades. Data från 2013-2025

4.3 Lerhalt

Det fanns flest mätningar på fält med lättlera och mellanlera, däremot var det mycket färre mätningar gjorda på styva leror (Figur 5). Stor spridning och överlappning förekom i samtliga lerhalter.

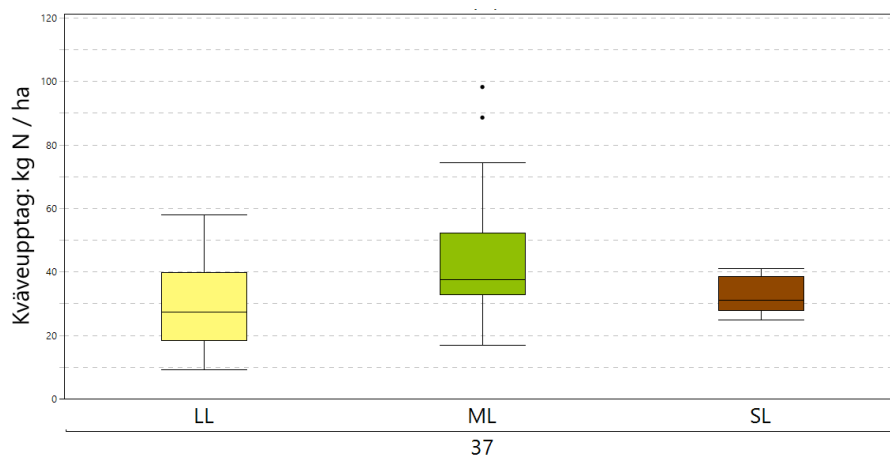
Mellanlerorna uppvisade högst medelvärde, och högsta uppmätta kväveupptaget. Lättlerorna visade på lägst medelvärde i kväveupptaget, medan de styva lerorna visade de lägsta uppmätta värdena. Medelvärden för kväveupptaget i fälten med de olika lerhalterna var LL: 35 kg N ha^{-1} , ML: 42 kg N ha^{-1} , och SL: 37 kg N ha^{-1} .

Statistisk signifikant skillnad observerades mellan lättlerorna och mellanlerorna, medan de styva lerorna uppvisade ett mellanliggande värde och inte skiljde sig statistiskt från de andra lerhaltsklasserna.



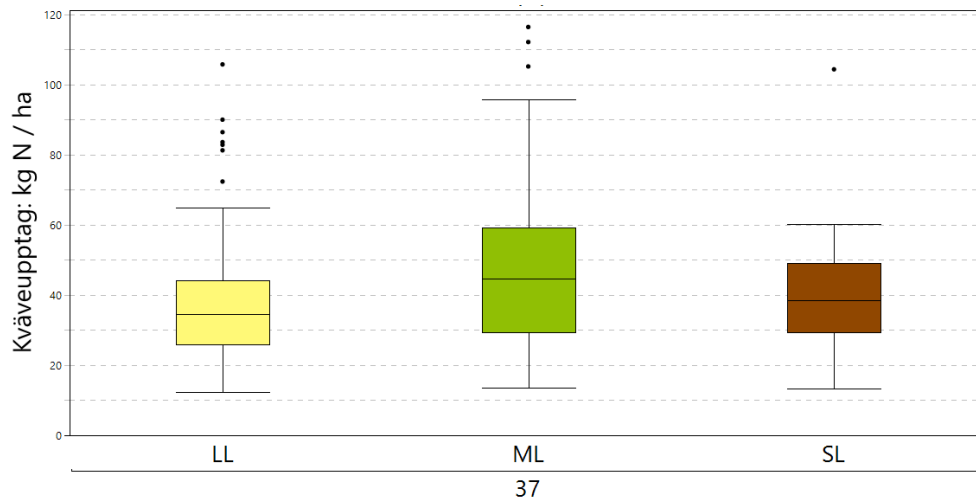
Figur 5. Lerhaltens påverkan på kväveupptag i höstvetete med ärt, höstraps och höstvetete som förfrukt vid utvecklingsstadium DC 37. Lättlera (LL) = gul, $n = 276$; Mellanlera (ML) = grön, $n = 285$; Styv lera (SL) = brun, $n = 95$. P -värde: $<0,0001^*$. Statistisk signifikant skillnad i kväveupptag mellan ML(A) och LL (B). Data från 2013-2025

Statistisk signifikans visades mellan mellanleror (A) och lättleror (B) i fält med ärt som förfrukt till höstvetet (Figur 6) Den tydligaste gynnsammaste lerhalten för kväveupptag under dessa omständigheter var mellanleror. Stor spridning förekommer fortfarande.



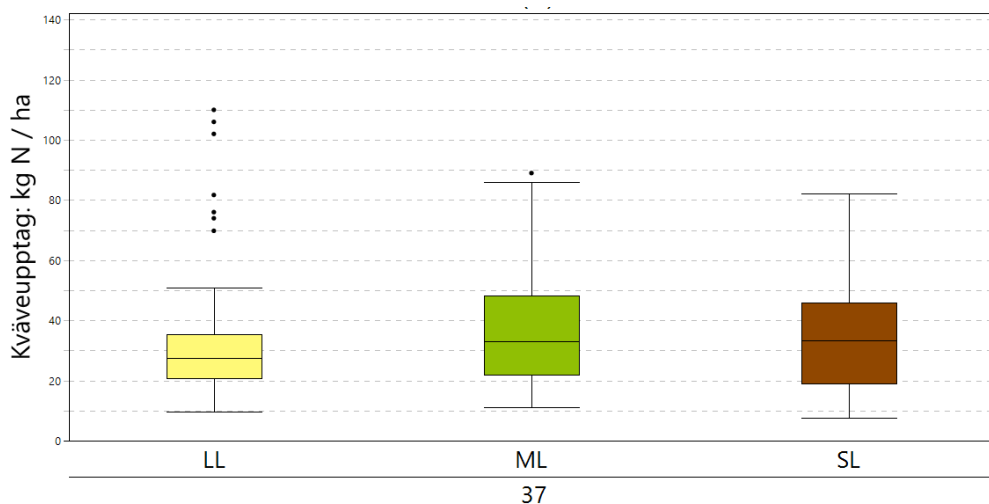
Figur 6. Lerhaltens påverkan på kväveupptag i höstvetete med ärt som förfrukt vid utvecklingsstadium DC 37. Lättlera (LL) = gul, $n = 28$; mellanlera (ML) = grön, $n = 54$; styv lera (SL) = brun, $n = 5$. P -värde: $0,0013^*$. Statistisk signifikant skillnad i kväveupptag mellan ML (A) och LL (B). Data från 2013-2025

Även med höstraps som förfrukt visades statistisk signifikans mellan mellanlerorna (A) och lättlerorna (B) (Figur 7). Vidare visar sig mellanlerorna vara den gynnsammaste lerhalten för kväveupptaget även under dessa omständigheter, men här med en större spridning.



Figur 7. Lerhaltens påverkan på kväveupptag i höstvet med höstraps som förfrukt vid utvecklingsstadium DC 37. Lättlera (LL) = gul, $n = 150$; mellanlera (ML) = grön, $n = 106$; styv lera SL = brun, $n = 46$. P -värde: 0,0002*. Statistisk signifikant skillnad i kväveupptag mellan ML (A) och LL (B). Data från 2013-2025

I fälten med höstvet som förfrukt visades ingen signifikant skillnad i kväveupptaget mellan lerhalterna (Figur 8). Stor spridning förekommer.

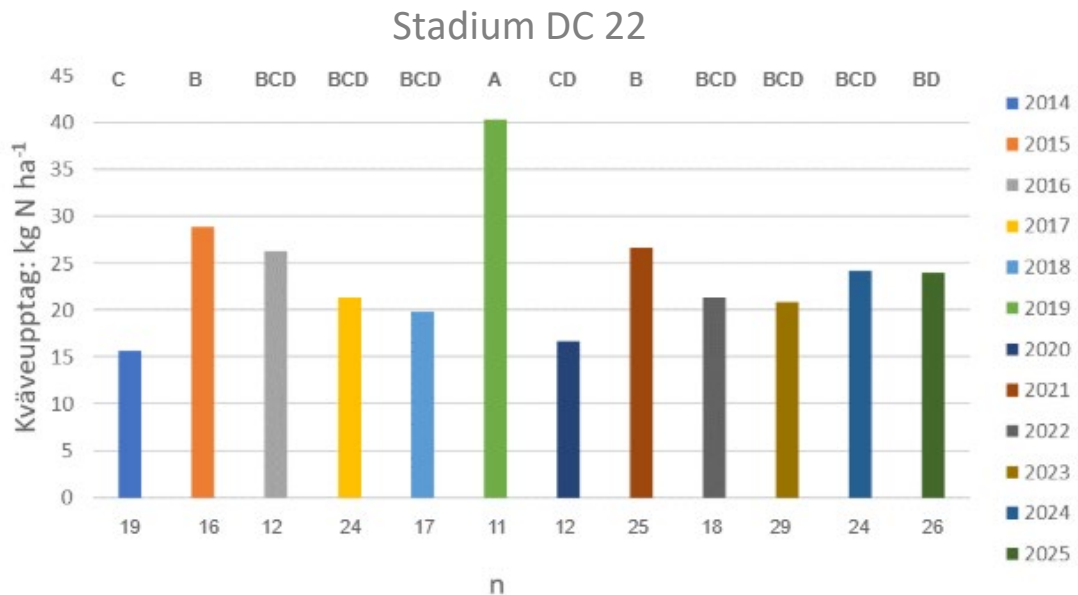


Figur 8. Lerhaltens påverkan på kväveupptag i höstvet med höstvet som förfrukt vid utvecklingsstadium DC 37. Lättlera (LL) = gul, $n = 98$, mellanlera (ML) = grön, $n = 125$, styv lera (SL) = brun, $n = 44$. P -värde: 0,11. Ingen statistisk signifikant skillnad i kväveupptag visades. Data från 2013-2025

4.4 Årens påverkan

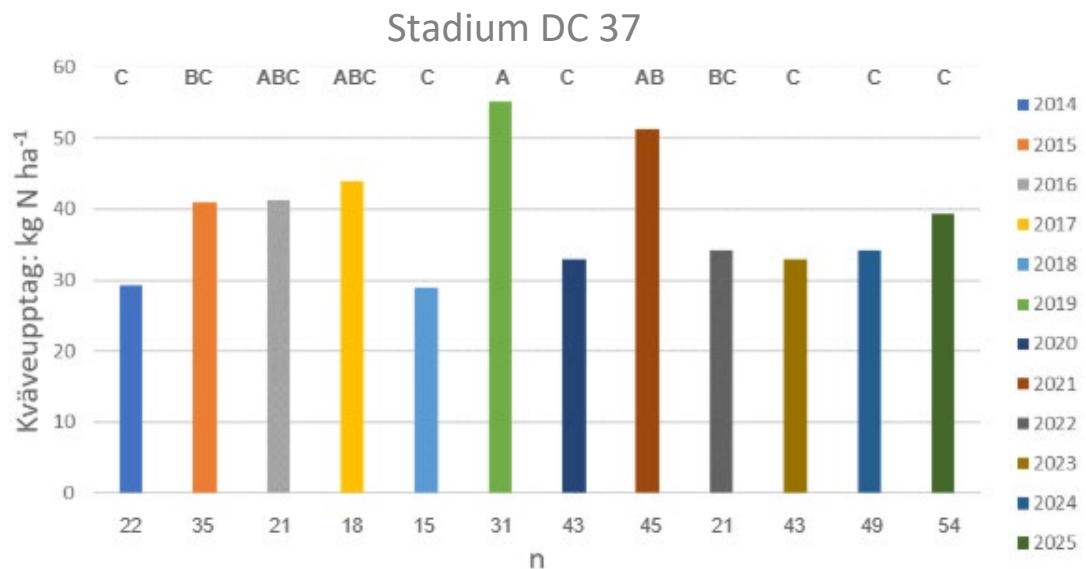
Vid sammanställning av mätningar från samtliga år, med höstraps som förfrukt, visade mätningarna tydliga skillnader mellan åren, vilket tyder på en påverkan på kväveupptaget i höstvetet som beror på årsmån (Figur 9 : Figur 10 : Figur 11). Statistisk signifikans påvisades dock endast vid utvecklingsstadium DC 22 och 37.

Vid utvecklingsstadium DC 22 påvisades statistisk signifikans mellan 2019 (A) och samtliga år, då 2019 visade högst kväveupptag (Figur 9). Utöver år 2019 uppvisade år 2015 (B) och 2021 (B) högst medelvärde för kväveupptag vid detta utvecklingsstadium. De år som uppvisade lägst kväveupptag kväveupptag var år 2014 (C) och år 2020 (CD).



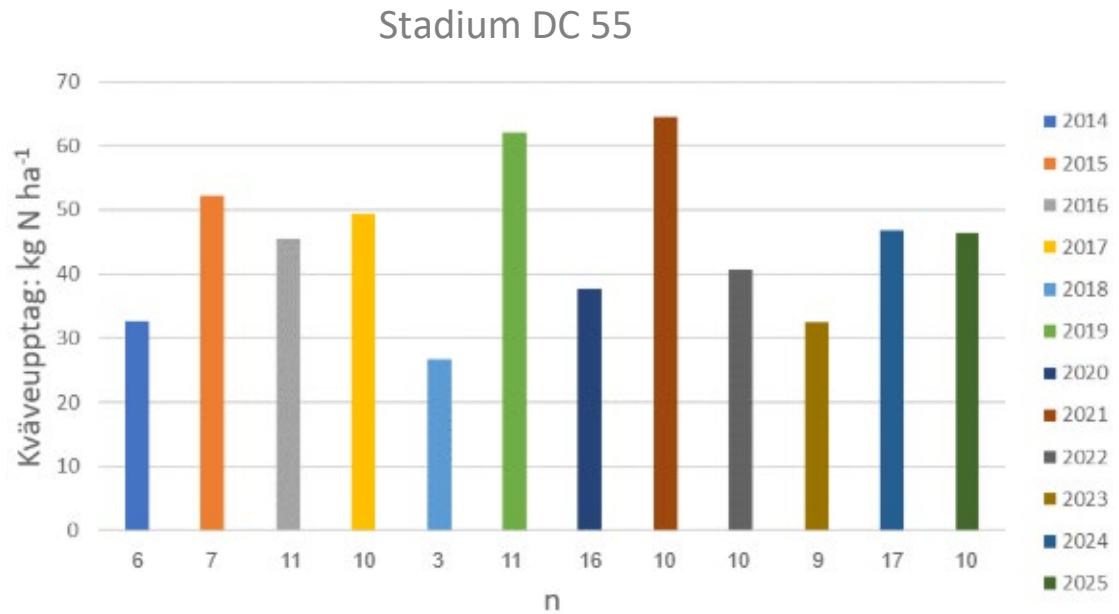
Figur 9. Kväveupptag vid utvecklingsstadium DC 22 i höstvetet med höstraps som förfrukt, 2014 – 2025. Medelvärde för nollrutor i Region Syd, Kalmar, Öst och Mitt. P-värde (år): <0,0001*. Antal mätningar på X-axeln och statistisk signifikans över staplarna. Data från 2014-2025

Vid utvecklingsstadium DC 37 visade år 2019 (A) och år 2021 (AB) fortfarande på högst kväveupptag (Figur 10). År 2014 (C) uppvisade fortfarande lägst kväveupptag tillsammans med åren 2018 (C), 2020 (C) och åren 2023 – 2025 (C).



Figur 10. Kväveupptag vid utvecklingsstadium DC 37 i höstvetete med höstraps som förfrukt, 2014 – 2025. Medelvärde för nollrutor i Region Syd, Kalmar, Öst och Mitt. P-värde (år): 0,0001*. Antal mätningar på X-axeln och statistisk signifikans över staplarna. Data från 2014-2025

Däremot, vid utvecklingsstadium DC 55 påvisades ingen statistisk signifikans mellan åren (Figur 11). Dock hade år 2019 och år 2021 fortfarande högst medelvärde för kväveupptag.



Figur 11. Kväveupptag vid utvecklingsstadium DC 55 i höstvetete med höstraps som förfrukt, 2014 – 2025. Medelvärde för nollrutor i Region Syd, Kalmar, Öst och Mitt. P-värde (år): 0,0001*. Antal mätningar på X-axeln och statistisk signifikans över staplarna. Data från 2014-2025

5. Diskussion

5.1 Förfruktseffekter

Kväveleransen i nollrutemätningarna visar att med höstraps som förfrukt är kväveupptaget signifikant högre i höstvetet fram till utvecklingsstadium DC 22. Fram till DC 37 har höstvetet i fält med både ärt eller höstraps som förfrukt högre kväveupptag än med höstvetet som förfrukt. Vid DC 55 fanns dock ingen statistisk skillnad mellan förfrukternas påverkan.

Enligt litteraturen (Engström & Lindén 2006) har höstrapsen en högre C/- kvot än ärt, och förväntas då mineraliseras långsammare. Det vore alltså rimligt att förvänta sig att höstvetet skulle haft ett högre N-upptag efter ärt i tidigare stadier. Vidare, med tanke på Jordbruksverket (2025b) rekommendation om en minskad giva med 40 kg N ha⁻¹ och 35 kg N ha⁻¹ efter höstraps respektive ärt hade en förväntning av att höstvetet hade haft högre N-upptag i senare stadier efter höstraps varit rimligt, men analysen påvisar att kväveupptaget i höstvetet inte skiljer sig mellan dessa förfrukter.

Däremot är en möjlig förklaring till det signifikant högre kväveupptaget i höstvetets tidiga utvecklingsstadier efter förfrukten höstraps jämfört med de andra förfrukterna att det finns mineralkväve kvar som var ämnat åt rapsen, då detta är en gröda som får relativt stora gödselgivor för att säkra dess skörd. Tirén (2020) och (Lindén 2008) påstår att den största orsaken för förekomsten av mineralkväve efter förfrukten höstraps är efterlämnad mineralgödsel.

Vidare har höstraps en relativt låg C/N-kvot på 77 i medelvärde (Engström & Lindén 2006), och det är en gröda med stor biomassa. Alltså lämnar den efter sig både mineralkväve och organiskt kväve.

Ärten däremot, har en ännu lägre C/N-kvot än höstraps, på 50 i medelvärde (Engström & Lindén 2006) i sin ovanjordiska biomassa, och med väldigt kväverika rötter. Förutom en N-mineralisering på hösten så kan det finnas kväverika skörderester som kan bli växttillgängliga under hela växtodlingssäsongen. Detta eftersom delar av ärtens skörderester kan vara undangömda i aggregat. I dessa fall blir de först tillgängliga när rötter och nedbrytande mikroorganismer tränger sig igenom dessa (Adu & Oades 1978; Schlüter et al 2018). Slutligen är ärt en vårgroda, och en variation med vår och höstgrödor minskar trycket på ogräs, vilket minskar konkurrensen i höstvetet.

Sammanfattningsvis uppvisade mätningarna en stor spridning i kväveupptaget, vilket belyser vikten av att förstå sina fält. Även ett välberäknat medelvärde på förfruktseffekter (Jordbruksverket 2025b; Engström & Lindén 2006) är inte representativt för ett fält, då kväveupptaget beror i stor del på förutsättningarna som höstvetet får under odlingssäsongen i form av temperatur och regn, i samband med jordarten. Alltså är det viktigt att förstå att medelvärdena inte alltid är representativa.

5.2 Mullhaltens påverkan

Enligt Kätterer och Karlsson (2012) finns det en direkt korrelation mellan mullhalt och kväveupptag när man inte gödslar. Dock, likt Nissens (2020) studie hittades ingen signifikant skillnad i kväveupptag i nollrutorna mellan de olika mullhalterna, däremot uppvisade de mullrika-fälten ett lägre genomsnittligt kväveupptag jämfört med de andra mullhaltsklasserna, men ett statistiskt samband uppvisades inte.

En möjlig förklaring till att dessa mullrika-fält hade ett mindre kväveupptag är att de under perioden 2013 - 2025 bara var från region Mitt och Öst och hade minst antal mätningar, på endast 33 stycken. Drygt hälften av dessa var på styva leror i region Öst (17 SL, varav 13 i Öst). Detta gör att mätningarna inte är helt representativa då både ler- och mullhalten påverkar jordens termiska egenskaper, och våren är kallare i region Öst med en normalskillnad på drygt 100 daggrader mellan januari och juli jämfört med i region Syd. Alltså kommer dessa jordar torka upp vid senare tidpunkt än de mullfattigare eller sydligare, vilket försenar kväve-mineraliseringen, då detta främst är en aerob process som även är temperaturberoende (Eriksson et al 2011). Dessa jordar löper även en större risk för kväveavgång i gasform (Henriksson 2015), samtidigt som det organiska materialet kan vara skyddat i aggregat vilket gör det temporärt otillgängligt (Adu & Oades 1978; Schlüter et al 2018).

5.3 Lerhaltens påverkan

Variationsanalysen visade låga P-värden vilket tyder på ett statistiskt samband mellan lerhalt och kväveupptag i höstvetets nollrutor. Höstvetet uppvisade statistiskt signifikant högre upptag på mellanlerorna än på lättlerorna, men de styva lerorna var inte statistiskt skilda från vare sig lättlerorna eller mellanlerorna. Däremot hade höstvetet på mellanlerorna högre medelvärde i kväveupptag än på

de styva lerjordarna. Det högre upptaget skulle kunna tyda på att mellanlerorna är uppbyggda av en gynnsam fördelning av porstorlekar, bestående av en blandning av makro- och mikroporer vilket skulle innebära stabila aggregat som gynnar gasutbytet i marken och rottillväxten hos höstvetet, vilket möjliggör för grödan att exploatera jordprofilen och utnyttja dess vatten och näringsinnehåll väl, samtidigt som kväve mineraliseringen i marken ökar.

Vid styva lerhalter är det lättare för syrefria miljöer att bildas. Dessa miljöer kan bildas dels vid markpackning som leder till stående vatten, eller inuti den syrefattiga zonen inuti stora aggregat (Schlüter et al 2018). Båda dessa orsakar kväveförluster i gasform i form av N_2O eller N_2 (Henriksson 2015). Markpackning kan självfallet påverka lättare leror också, men vid jordbearbetning i styvare leror är det viktigt att ha en viss vattenhalt så att jorden går att bearbeta (Hamza & Anderson 2005), vilket leder till att styva leror löper en hög risk för markpackning. De styva lerorna tar även längre tid på sig att torka upp på våren, vilket försenar kväve-mineraliseringen. Dessa anledningar skulle kunna påverka orsaken till det lägre kväveupptaget i de styva lerorna jämfört med mellanlerorna.

Dessutom, eftersom lättleror är uppbyggda av partiklar med större kornstorlekar än leror kan man förvänta sig en större andel stora porer i dessa jordar. Med en större andel grova partiklar kan jordar även bilda enkelkornstruktur (Fogelfors 2015), vilket leder till en mer jämn avrinning av vatten genom jordprofilen. Detta innebär ett högt gasutbyte samt en snabb hydraulisk konduktivitet. Dessa faktorer i samband med en jämnare avrinning riskerar att öka kväveutlakningen, delvis på grund av den påskyndade kväve mineraliseringen (Mårtensson et al. 2021) och på grund av den ökade hydrauliska konduktiviteten. De uppmätta kväveupptagen ligger även i linje med Adu & Oades (1978) upptäckt om att sandjordar med lera kan ha större kväveförluster än styva leror, då lättlerorna uppvisade ett mindre medelvärde än de styva lerorna i kväveupptag.

Dock, när analysen separerades mellan förfrukter uppvisade inte lerhalten någon tydlig påverkan på kväveupptaget med höstvete som förfrukt, då p-värdet var 0,11, medan förfrukterna ärt och höstraps visade tydliga statistiska samband. Det svaga sambandet mellan förfrukten höstvete kan vara p.g.a. att halmen från stråsäd ofta förs bort från fält. Blir halmen inte bortförd har den ändå en hög C/N-kvot. Alltså finns det antingen mindre organiskt material kvar att mineralisera för mikroorganismerna, eller så finns det organiskt material som inte är så kväverikt, vilket då immobiliseras.

Sammanfattningsvis uppvisar mätningarna att lerhalten har en betydelse för kväveupptaget, speciellt i fält där förfrukternas biomassa lämnar efter sig mer

lättomsättbart organiskt material, medan betydelsen tycks bli svagare med förfrukter med högre C/N-kvot.

5.4 Skillnader mellan åren

Resultaten visar tydligt att år 2019 var det gynnsammaste året för kväveupptag under utvecklingsstadierna DC 22 - 55. Detta beror troligtvis på det torra året som förekom 2018 (Nissen 2020) vilket orsakade en signifikant minskning på den förväntade skörden, och alltså även kväveupptaget. Därmed fanns ett stort överskott av mineralkväve i marken till höstvetet som såddes 2018, vilket gynnade kväveupptaget vid etablering. Utöver ett år med en stark etablering tack vare den stora mängden restkväve hade 2019 inge tydliga långa torkperioder (Nissen 2020) vilket gynnar kvävemineralisering som i sin tur underlättar för kväveupptaget i vetet under våren.

Även år 2021 var ett gynnsamt år för höstvetets kväveupptag. Året erbjöd en vår med nederbörd lite över medelvärdet, med sin längsta torrperiod mellan mitten av februari och början på mars (Figur 1). Efter detta var nederbörden rätt konstant fram till maj då det regnade nästan 80 mm på en månad, vilket fyllde på grundvattnet. Samtidigt som markfukten gynnar kvävemineralisering säkerställer den tillgång till vatten för höstvetet under våren så att den kan nå sin potential under kväveintensiva perioder, som vid stråskjutningen (Jordbruksverket 2025b). Bevisligen var marken försedd med tillräckligt med nederbörd för att gynna höstvetets kväveupptag, utan att orsaka vattenmättade förhållanden, då kväveupptaget var högst av de analyserade åren i utvecklingsstadium DC 55.

Vidare hade 2021 svalare temperaturer än ett normalår för den perioden.. Med svalare temperaturer och med tillgång till näring och vatten gynnas höstvetets tillväxt och kväveupptag (Bergkvist 2014). Alltså innebar de svalare temperaturerna att höstvetet kunde växa bra innan det går vidare i utvecklingen, vilket ökar skördekomponenterna.

De år som uppvisade minst kväveupptag, 2018 och 2025, var varma och torra år. Förutom att växterna lider av vattenbrist så minskar mineraliseringen i marken, då denna process är beroende av ideala temperaturer och markfukt (Eriksson et al 2011). Vid högre temperaturer så riskerar höstvete att lägga sina resurser på sin utveckling mer än vad den gör på tillväxt (Bergkvist 2014). Detta minskar sannolikt upptaget av kväve, även vid tillgång på denna resurs.

Bevisligen påverkar årsmånen höstvetets kväveupptag då optimala odlingsförhållanden i form av gynnsamma temperaturer och markfuktighet inte bara är centrala i vetets tillväxt och utveckling (Bergkvist 2014), mineraliseringen i marken (Eriksson et al 2011), utan även i dess påverkan på föregående års kvävegivor (Tiren 2020). Slutligen visar mätningarna att årens påverkan på kväveupptag är större än samtliga andra faktorer. Den största skillnaden i medelvärde av kväveupptag vid olika utvecklingsstadier är avsevärt högre än hos förfrukt eller lerhalt (Tabell 5).

Tabell 5. Variation mellan medelvärde av kväveupptag i nollrutor i höstvete, uppdelat i analyserade utvecklingsstadier och olika faktorer: Årens påverkan (2014 – 2025), förfrukternas påverkan (höstraps, ärt och höstvete) och lerhaltens påverkan (LL, ML, SL) på kväveupptag.

<i>Utvecklingsstadium (DC)</i>	<i>Årens påverkan (kg N ha⁻¹)</i>	<i>Förfrukt (kg N ha⁻¹)</i>	<i>Lerhalt (kg N ha⁻¹)</i>
22	25	4	-
37	24	4	7
55	36	9	-

5.5 Metoddiskussion och vidare forskning

Då de analyserade mätningarna är tagna från många olika områden under ett flertal år i kombination med att en stor andel av mätningarna saknar data på minst en faktor har inte alla faktorer kunnat tas i akt vid analys, och mycket data har inte kunnat användas.

Det vore intressant att lyckas sortera ut mätningar med liknande egenskaper; alltså samma förfrukt, samma ler- och mullhalt, samt lik tillförsel av organiskt gödsel, från olika regioner men samma år. Att ha mätningar på en mängd variationer av dessa faktorer, men samma variationer i olika regioner i landet under varje år skulle minimera påverkan av systematiska variationer. Detta skulle underlätta ett analys som kan ge en djupare förståelse av hur samspelet av dessa faktorer påverkar kväveupptaget. Självfallet blir det svårt att komma över fält med identiska egenskaper då Jordbruksverket inte har möjligheten att välja vilka fält som helst, då deras fältanalyser bygger på ett frivilligt samarbete med lantbrukare, sedan är det också svårt att hitta fält med identiska egenskaper.

En annan möjlig teknik för att minska systemiska variationer vore att göra fältförsök uppdelat i parceller med olika förfrukter. Då är jordarten och vädret låst, men en jämförelse av förfrukten kan göras. Detta blir dock dyrare än att göra en analys av nollrutemätningarna som redan är gjorda.

6. Slutsats

Studien understryker vikten av en välplanerad växtföljd med hänsyn till jordarten för att optimera kväveeffektiviteten. Analysen av Jordbruksverkets mätningar av kväveupptag i nollrutor uppvisar:

- Förfrukterna höstraps och ärt påverkar höstvetets kväveupptag positivt.
- Mellanleror påverkar höstvetets kväveupptag positivt.
- Ingen signifikant skillnad mellan mullhalter uppvisades.
- Årsvariationen visade störst påverkan på höstvetets kväveupptag.

Den stora variationen av kväveupptaget i mätningarna påvisar behovet av att anpassa kvävegivor utefter grödans behov och markens kväveleverans i olika delar av fältet. Sammanfattningsvis är en välplanerad växtföljd med anpassning till jordart och årsmån central i att öka kväveeffektiviteten i jordbruk.

7. Tack!

Ett stort tack till alla vänner och bekanta som hjälp mig att framställa detta arbete. Tack till Pär-Johan Lööf och Emelie Ekholm för förtroendet att genomföra arbetet, och idén till detta kandidatarbete. Tack till Gunilla Frostgård, Johanna Lassvik och Lovisa Nissen för framtagandet av nollrute-mätningarna, och ett stort tack till de lantbrukare och anställda som deltagit genom att dela och samla information om de analyserade fälten. Ett stort tack till min handledare Sigrun Dahlin för de diskussioner vi haft om mitt arbete, och en gemensam hyllning till dig och Martin Weih för den genomgående kritiken som har gjort att jag kunnat förbättra arbetet. Tack till Lukas Edénholm för opponeringen och din konstruktiva kritik. Tack till Johannes Forkman och Ivan Strandvik för att ni delade med er av era statistiska kunskaper, utan er hade jag inte kunnat tyda resultaten. Slutligen vill jag tacka Ingemar Gruvaeus och Göran Bergkvist som tipsat mig om artiklar och tidigare forskning som varit väldigt relevanta för detta arbete.

8. Referenser

- Angus, J.F., Kirkegaard, J.A., Hunt, J.R., Ryan, M.H., Ohlander, L. & Peoples, M.B. (2015). Break crops and rotations for wheat.
- Arnhold, J., Grunwald, D., Braun-Kiewnick, A. & Koch, H.-J. (2023). Effect of crop rotational position and nitrogen supply on root development and yield formation of winter wheat. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1265994. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1265994>
- Aronsson, H. & Torstensson, G. (2004). Beräkning av olika odlingsåtgärders inverkan på kväveutlakningen. SLU. https://www.google.com/url?q=https://pub.epsilon.slu.se/5378/1/aronsson_h_et_al_101021.pdf&sa=D&source=docs&ust=1779288756279396&usg=AOvVaw0gDXFcf-YqK-nOxcwbqkhg
- Bergkvist, G. (2014). Vad krävs för att få 15 ton höstvetete per hektar?
- Bergkvist, G. & Friberg, H. (2010). *Meddelande från Södra jordbruksförsöksdistriktet*
- Bonmatí, M., Ceccanti, B., Nannipieri, P. & Valero, J. (2009). Characterization of humus–protease complexes extracted from soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 41 (6), 1199–1209. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.02.032>
- Bowden, P. (2008). *Wheat growth & development*. NSW Dept. of Primary Industries.
- Congreves, K.A., Otchere, O., Ferland, D., Farzadfar, S., Williams, S. & Arcand, M.M. (2021). Nitrogen Use Efficiency Definitions of Today and Tomorrow. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637108>
- Hamza, M.A. & Anderson, W.K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82 (2), 121–145. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>
- Havlin (2014). *Soil Fertility and Fertilizers by John L. Havlin*. lib.org.
- Henriksson, M., Stenberg, M. & Berglund, M. (2015). Lustgas från jordbruksmark.
- Jordbruksaktuellt (2025). *Så många hade jordbruksföretag 2025*. *Jordbruksaktuellt*. <https://www.ja.se/artikel/2238940/s-mnga-hade-jordbruksfretag-2025.html> [2026-04-27]
- Jordbruksverket (2010). Markkartering av åkermark. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo10_19.pdf&ved=2ahUKEwittp6km46UAxVsGhAIHQXuCZsQFnoECBoQAQ&usg=AOvVaw2MqkRI4EXabNAIcDBFUwiL
- Jordbruksverket (2025a). Höstsådda arealer 2025. text, Jordbruksverket. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2025-11-28-hostsadda-arealer-2025> [2026-02-26]
- Jordbruksverket (2025b). Rekommendationer för kalkning och gödsling 2026. Jordbruksverket.
- Jordbruksverket (u.å.). IPM Höstvetete
- King, A.E., Ali, G.A., Gillespie, A.W. & Wagner-Riddle, C. (2020). Soil Organic Matter as Catalyst of Crop Resource Capture. *Frontiers in Environmental Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00050>

- Kirkegaard, J.A. & Ryan, M.H. (2014). Magnitude and mechanisms of persistent crop sequence effects on wheat. *Field Crops Research*, 164, 154–165. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.05.005>
- Kätterer, T. & Karlsson (2012). Kvävemineralisering i precisionsjordbruk
- Lantbruksnytt & Niléhn, A. (2025). Allmänna råd inför ogräsbekämpning i höstsäd 2025. *Lantbruksnytt*. <https://lantbruksnytt.se/allmanna-rad-infor-ograsbekampning-i-hostsad-2025/> [2026-04-27]
- Lindén, B. (2008). *Efterverkan av olika förfrukter: inverkan på stråsådesgrödors avkastning och kvävetillgång: en litteraturöversikt*. Avdelningen för precisionsodling, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Lindén, B. (2017). Mineralkväve i marken och kväeutlakning i olika odlingssystem: resultat från ett fältförsök vid Lanna försöksstation i Västergötland. *Ekohydrologi*, (148). <https://res.slu.se/id/publ/104582> [2026-03-09]
- Lindén, B. & Engström, L. (2006). *Höstraps, havre och ärter som förfrukter till höstvet: inverkan på kvävedynamiken i marken och på vetets avkastning = Winter oilseed rape, oats and field peas as crops preceding winter wheat: effect on nitrogen dynamics in the soil and on wheat yields*. Avdelningen för precisionsodling, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Lorentzson, J. (2023). *Priserna på insatsvaror avgörande för jordbrukets lönsamhet*. <https://blogg.lrf.se/alla-inlagg/priserna-pa-insatsvaror-avgorande-for-jordbrukets-lonsamhet/> [2026-02-18]
- Lundkvist, A. (2014). *Ogräskontroll på Jordbruksmark*. Jordbruksverket.
- Marschner, P. (2012). Functions of Macronutrients. I: *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 135–150. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>
- Mattsson, L. (1999). Mullhalt och kväve/mineralisering i åkermark.
- McEwen, J., Darby, R.J., Hewitt, M.V. & Yeoman, D.P. (1990). Effects of field beans, fallow, lupins, oats, oilseed rape, peas, ryegrass, sunflowers and wheat on nitrogen residues in the soil and on the growth of a subsequent wheat crop. *The Journal of Agricultural Science*, 115 (2), 209–219. <https://doi.org/10.1017/S0021859600075146>
- Mengel, K. (1996). *Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops*.
- Mårtensson, K., Lindsjö, A. & Persson, K. (2021). Beräkning av effekten av ett eventuellt förbud mot växtskyddsmedlet glyfosat på läckaget av växtnäring från åkermark i Sverige. <https://publications.slu.se/?file=publ/show&id=118676>
- Nissen, L. (2020). *Kväveupptag i höstvet*. SLU.
- Perkons, U., Kautz, T., Uteau, D., Peth, S., Geier, V., Thomas, K., Lütke Holz, K., Athmann, M., Pude, R. & Köpke, U. (2014). Root-length densities of various annual crops following crops with contrasting root systems. *Soil and Tillage Research*, 137, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.11.005>
- Schlüter, S., Henjes, S., Zawallich, J., Bergaust, L., Horn, M., Ippisch, O., Vogel, H.-J. & Dörsch, P. (2018). Denitrification in Soil Aggregate Analogues-Effect of Aggregate Size and Oxygen Diffusion. *Frontiers in Environmental Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00017>
- Shah, K.K., Modi, B., Pandey, H.P., Subedi, A., Aryal, G., Pandey, M. & Shrestha, J. (2021). Diversified Crop Rotation: An Approach for Sustainable Agriculture Production. *Advances in Agriculture*, 2021 (1), 8924087. <https://doi.org/10.1155/2021/8924087>
- Sieling, K. & Christen, O. (2015). Crop rotation effects on yield of oilseed rape, wheat and barley and residual effects on the subsequent wheat. *Archives of*

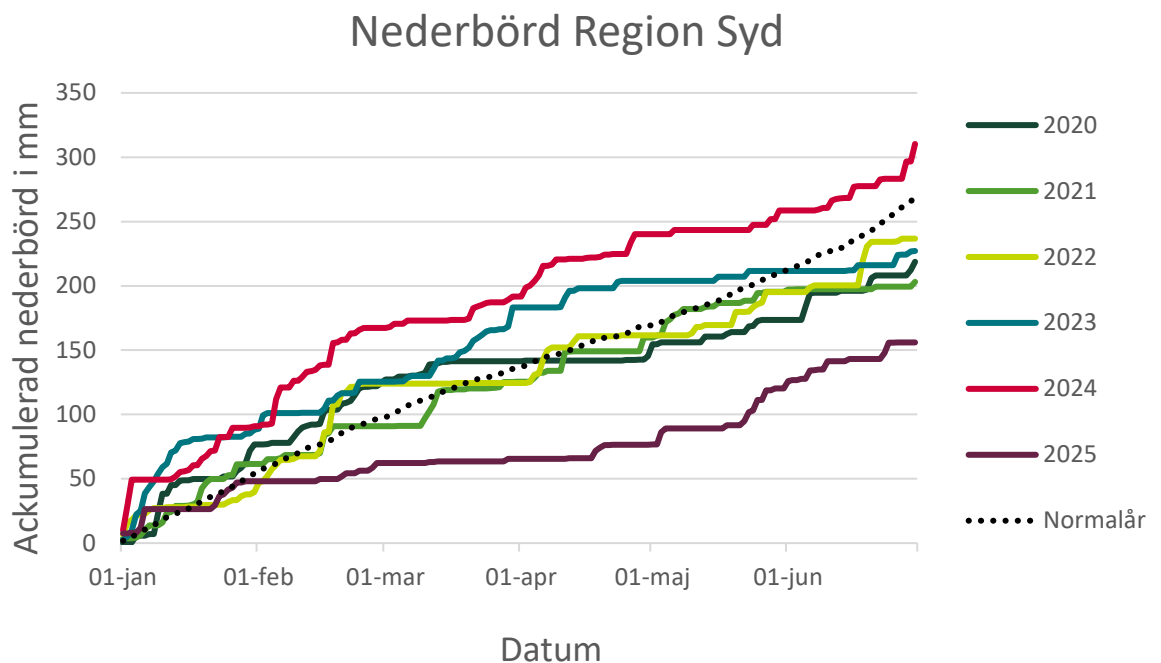
- Agronomy and Soil Science*, 61 (11), 1531–1549.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1017569>
- SMHI (u.å.). *Ladda ner väderobservationer. SMHI*. [text].
<https://www.smhi.se/data/hitta-data-for-en-plats/ladda-ner-vaderobservationer> [2026-04-27]
- Sveriges miljömål (2025). *Ingen övergödning - Sveriges miljömål*.
<https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/> [2026-03-09]
- Tirén, S. (2020). – vilka faktorer påverkar nivåerna och hur kan höga värden undvikas?
- United (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations General Assembly.
<https://docs.un.org/en/A/RES/70/1>
- Yara (2017). *Gödslingsråd för höstvet*. Yara Sverige.
https://www.yara.se/vaxtnaring/vete/godslingsrad_hostvete/ [2026-02-26]
- Yara (2019). *Nitrogen-Use Efficiency | Grow the Future* | Yara UK. Yara United Kingdom. <https://www.yara.co.uk/grow-the-future/efficient-farming/nitrogen-use-efficiency/> [2026-04-27]

9. Bilagor

9.1 Nederbörd

9.1.1 Region Syd

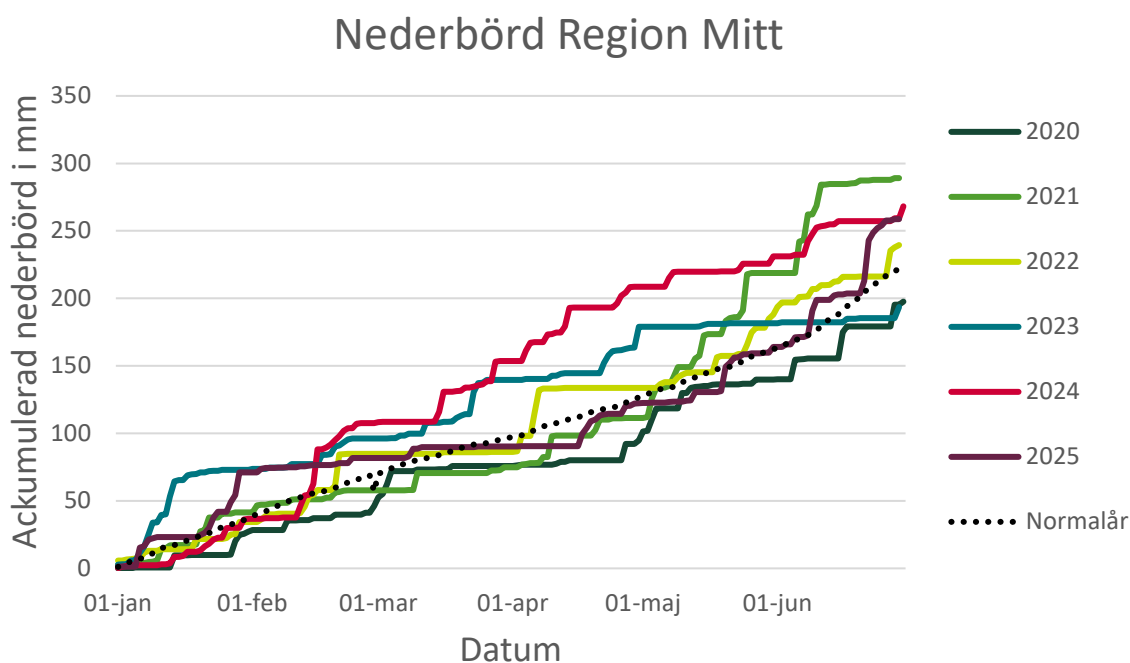
Region Syd hade relativt normala halvår 2020 – 2023 med en medelnederbörd på 221 mm mellan januari och juli (Figur 12). Dock förekom en torrperiod mellan mitten på februari till mitten på mars 2021. År 2025 hade en relativt torr vår fram till slutet på maj, då en tredjedel av hela halvårets nederbörd (156 mm) inträffade på knappt en månad. Vidare inträffade ett kraftigare nederbördstillfälle i slutet på mars 2023. Första halvan av 2024 stack ut som ett blött halvår, med en nederbörd på 316 mm.



Figur 12. Genomsnittlig ackumulerad nederbörd för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i region Syd 01/01 – 01/07, 2020–20205. Information samlad från SMHI.

9.1.2 Region Mitt

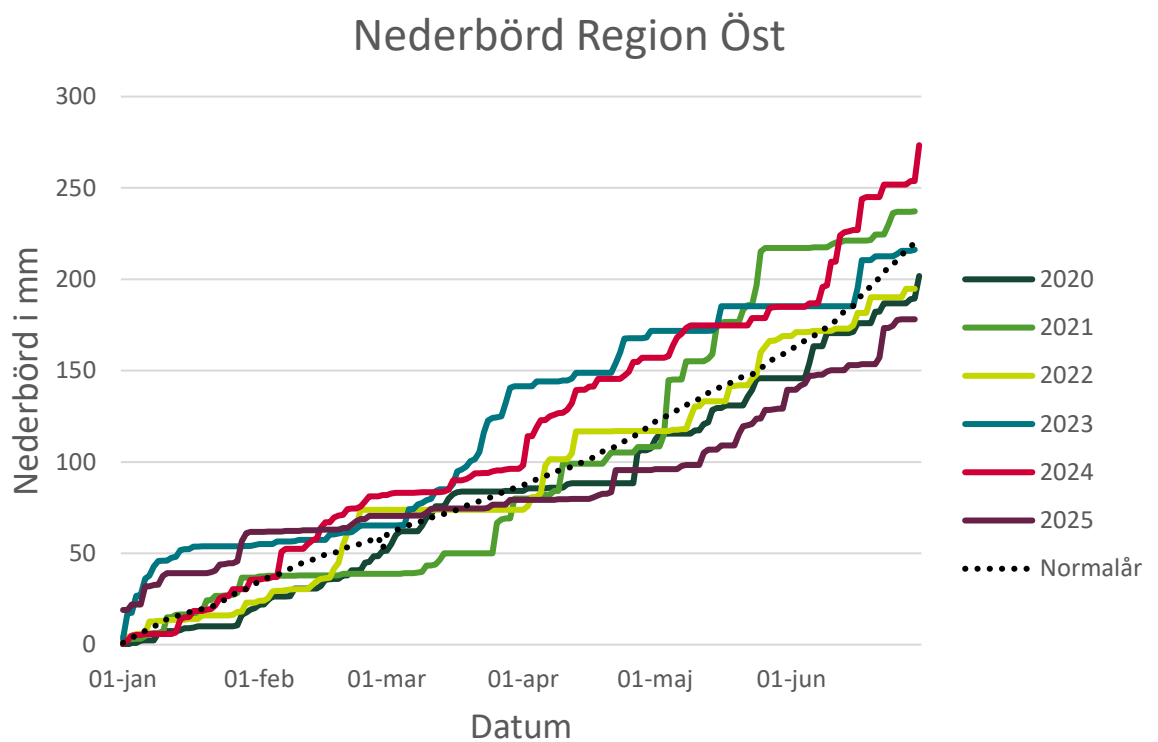
Region Mitt hade en medelnederbörd mellan januari och juli på 241 mm (Figur 13). Under denna period erbjöd 2021 högst nederbörd på 289 mm, och 2023 med minst på 194 mm. Dock var 2023 förhållandevis väldigt blött mellan januari och maj innan det blev torka. Mellan mars och april var det väldigt torrt år 2020, 2021, och 2025.



Figur 13. Genomsnittlig ackumulerad nederbörd för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i region Mitt 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.

9.1.3 Region Öst

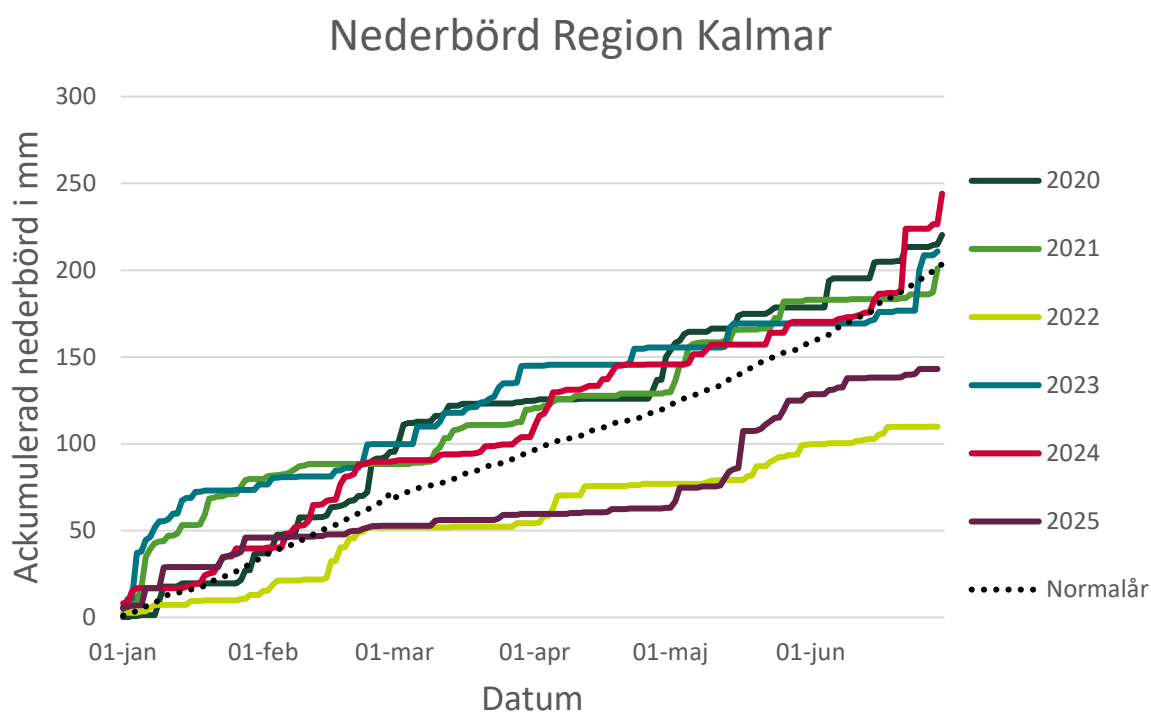
Region Öst hade lika mycker nederbörd som ett normalår i regionen under tidigare halvåret 2023 (Figur 14), dock var det förhållandevis blött mellan mars och juni. Medelnederbörden låg på 217 mm, 2024 var det blötaste halvåret med 273 mm, och 2025 det torraste med 178 mm. Största skillnaden är mellan dessa år och den är på 95 mm. Mellan februari och maj var det väldigt torrt 2025, med endast 33 mm nederbörd på tre månader.



Figur 14. Genomsnittlig ackumulerad nederbörd för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i Region Öst 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.

9.1.4 Region Kalmar

Region Kalmar hade en hyfsad normalnederbörd mellan januari och juli halvvåren 2020 2021, 2023 och 2024, med en medelnederbörd på 219 mm (Figur 15). 2022 var det torraste året med 110 mm. 2025 var också väldigt torrt med 143 mm, och den längsta torkan mellan februari och maj där endast 17 mm regnade.

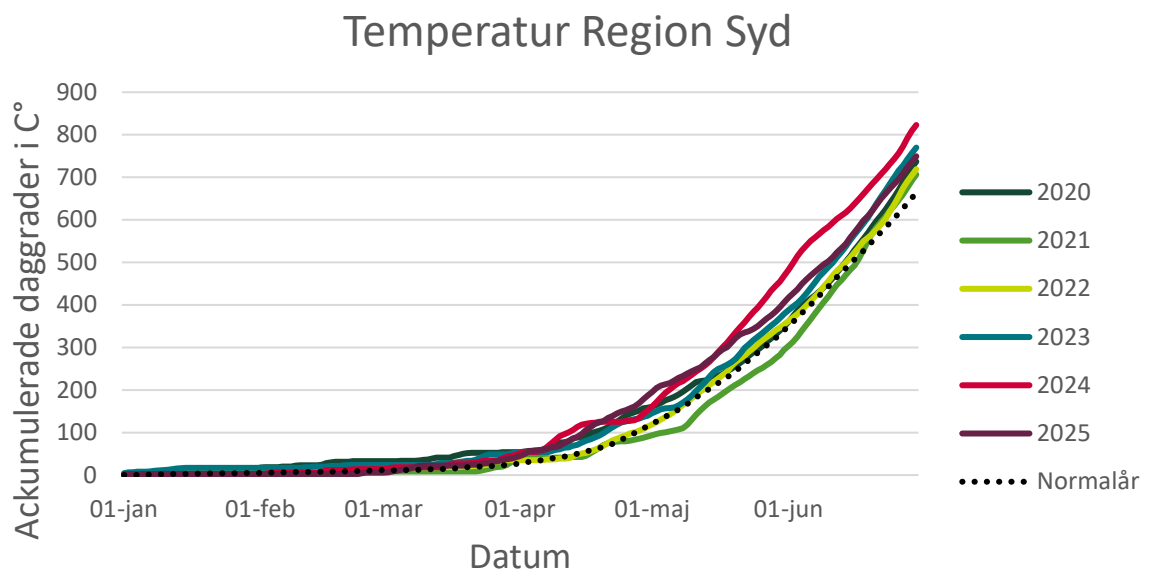


Figur 15. Genomsnittlig ackumulerad nederbörd för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i region Kalmar 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.

9.2 Temperatur

9.2.1 Region Syd

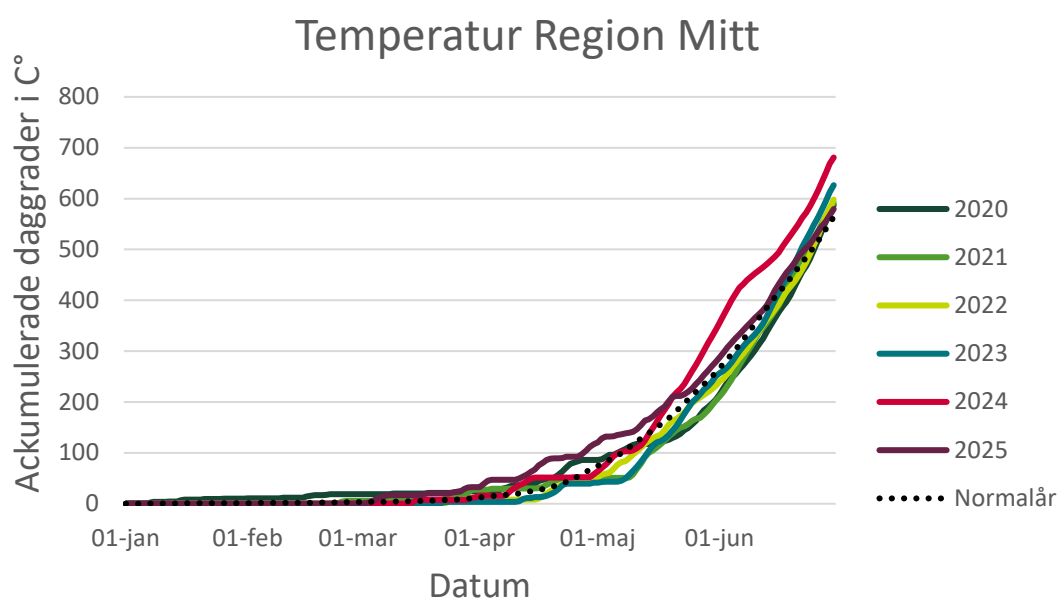
Region Syd hade en medeltemperatur på 755 daggrader mellan januari och juli åren 2020 – 2025 (Figur 16). Det kallaste året var 2021 med 707 daggrader. Detta år var temperaturen under normalår mellan maj och juni. Det varmaste halvåret var 2024 med 834 daggrader. Jämförelsevis med år 2021 blev de ackumulerade daggraderna mer än 100 den 12e april. Region Syd var regionen med mest temperatur-skillnad mellan åren, med 128 daggrader som störst skillnad.



Figur 16. Genomsnittlig temperatursumma för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i Region Syd 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.

9.2.2 Region Mitt

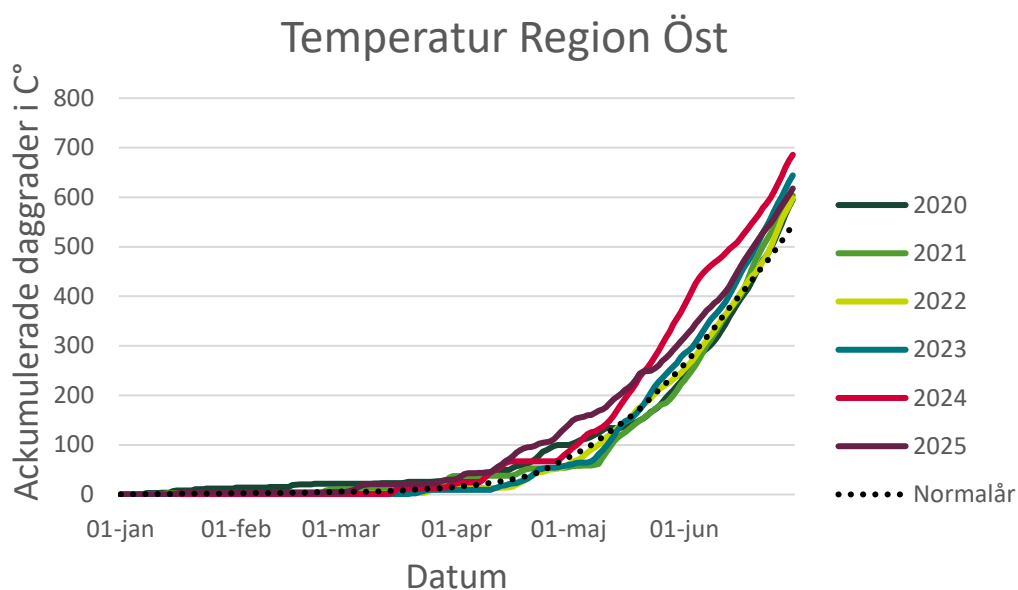
Medeltemperaturen i region Mitt var 611 daggrader. Även här hade 2021 en jämförelsevis långsam vår, 2023 likaså (Figur 17). Men det kallaste halvåret var här 2025 med 579 daggrader. Det varmaste halvåret var 2024 med 615 daggrader. Region Mitt var regionen med minst skillnad i temperatur mellan åren, med endast 36 daggrader skillnad.



Figur 17. Genomsnittlig temperatursumma för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i Region Mitt 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.

9.2.3 Region Öst

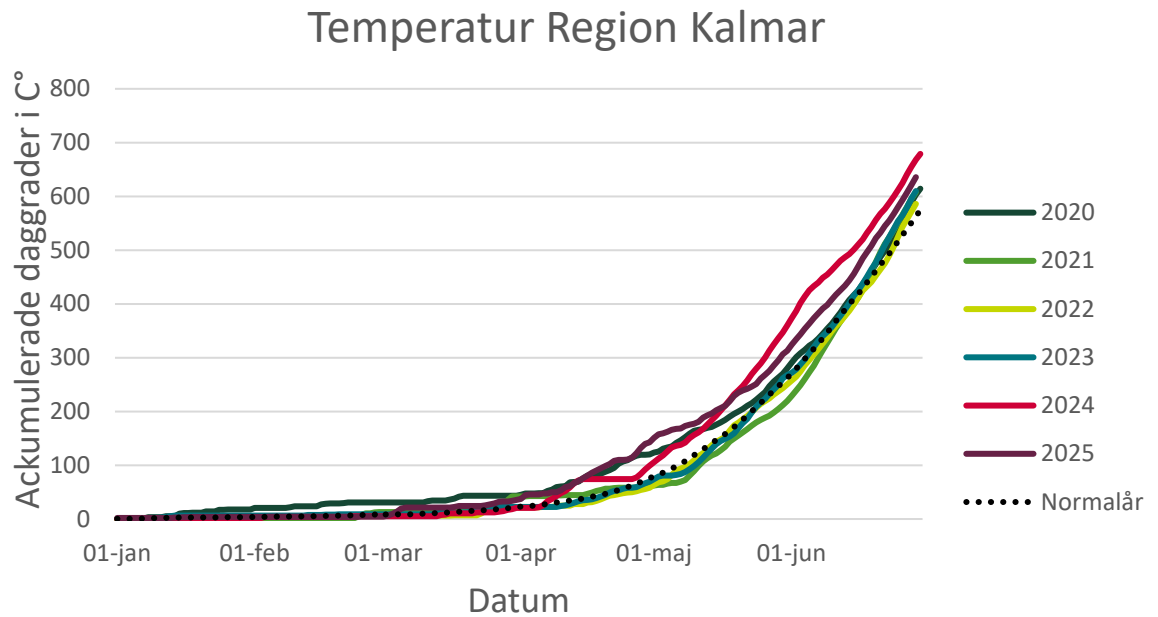
I region Mitt var temperatursumman åren 2024 och 2025 avvikande från normalåren, då dessa var betydligt varmare under hela säsongen. Här hade, precis som i region Mitt och Syd, 2021 en kall start, även 2023 låg under medelvärdet fram till början på maj (Figur 18). Det kallaste halvåret här var 2022 med 598 daggrader, och det varmaste 2024, med 694 daggrader.



Figur 18. Genomsnittlig temperatursumma för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i Region Öst 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.

9.2.4 Region Kalmar

Medeltemperaturen i region Kalmar var 622 daggrader. Här var år 2020 betydligt varmare än normalår redan från och med februari (Figur 19). Vidare visade 2025 och 2024 vara avvikande från normalåren då även dessa år var varmare. Halvåret med minst daggrader var 2022. Det varmaste halvåret var, precis som andra delar av landet, 2024 med 679 daggrader.



Figur 19. Genomsnittlig temperatursumma för de meteorologiska observationslokalerna närmast nollrutorna i Region Kalmar 01/01 – 01/07, 2020 – 2025. Information samlad från SMHI.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

☒ JA, jag, Albin Strandvik har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse till att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.