



Bedömning av kvävestatus i stärkelsepotatis

– en jämförelse mellan olika metoder

Assessment of nitrogen status in starch potatoes – a comparison between different methods

Elin Carlsson

Examensarbete/Självständigt arbete • 30 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för Mark & Miljö
Agronomprogrammet Mark/Växt
Serietitel, arbetets nummer i serien • 2022:04
Uppsala 2022



Bedömning av kvävestatus i stärkelsepotatis - en jämförelse mellan olika metoder

Assessment of nitrogen status in starch potatoes – a comparison between different methods

Elin Carlsson

Handledare: Karin Hamnér, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark & miljö
Bitr. handledare: Kristin Piikki, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark & miljö
Bitr. handledare: Stefan Hansson, Lyckeby
Examinator: Johanna Wetterlind, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark & miljö

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad, A2E
Kurstitel: Självständigt arbete i biologi
Kurskod: EX0898
Program/utbildning: Agronomprogrammet Mark/Växt
Kursansvarig inst: Institutionen för mark & miljö

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2022
Omslagsbild: Elin Carlsson

Nyckelord: kväve, kompletteringsgödning, bladskafsanalys, Yara N-sensor, Yara N-tester, fjärranalys med Vultus system,

Sveriges lantbruksuniversitet
Institution för mark & miljö

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

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

Sammanfattning

Kväve är ett viktigt näringsämne för växten eftersom det fyller många viktiga funktioner, bland annat som byggstenar till proteiner som ingår i fotosyntesen men också klorofyllmolekyler, DNA och RNA. Tillförseln av kväve är viktig att optimera i stärkelsepotatis (*Solanum tuberosum*) utifrån kvävepris, stärkelsehalt och skörd men också för aspekten att minska utlakning. Innan en eventuell kompletteringsgödning kan kvävestatus mätas hos potatisen som sedan kan ligga till grund för ett optimerat beslut gällande gödslingsbehov. Bladskafsanalys är en av de vanligaste metoderna som användas för att få ett mått på kvävestatusen i fält. I bladskafsanalysen analyseras nitratkoncentrationen i bladskaften. Det är denna metod som företaget Lyckeby (Kristianstad, Sverige) använder sig av för att hjälpa sina stärkelseodlare att optimera sin kvävetillförsel. Bladskafsanalysmetoden kräver en del handarbete, därför har det i detta arbete gjorts en jämförelse mellan bladskafsanalysen och andra metoder, såsom; Yara N-sensor, Yara N-tester och satellitbilder från Vultus. Detta med syftet att möjligtvis hitta en ny, mindre arbetskrävande metod att mäta kvävestatus i potatis på och därmed ersätta den nuvarande bladskafsanalysen. Till grund till detta självständiga arbete har två försök genomförts i Kristianstadtrakten. Försökens upplägg var ett randomiserat plotförsök med tre block med fyra olika led med skilda kompletteringsgödselgivor (100 kg N/ha, 150 kg N/ha, 200 kg N/ha, 250 kg N/ha). Det utfördes mätningar nio gånger under sommaren, för varje mättillfälle utfördes mätning med vardera ovannämnd metod. På detta sätt kunde insamlad data ifrån varje mätmetod sammanställas och därefter genomgå en jämförelse mellan varandra för att i slutändan se om mätmetoderna gav liknande resultat. Det utfördes också fältobservationer hos fyra odlare för att testa metoderna i fält. Det visade sig att N-sensorn och N-testern korrelerar starkt till bladskafsanalysen från och med 34 dagar efter uppkomst och framåt. Däremot korrelerar aldrig satellitbilderna från Vultus starkt med bladskafsanalysen. Signifikant skillnad mellan de olika gödselgivorna/leden kunde ses först 16 dagar efter kompletteringsgödslingen när bladskafsanalysen användes. Där led 1 (100 kg N/ha) hade lägst nitratkoncentration och led 4 (250 kg N/ha) högst koncentration av nitrat. Med N-sensorn och N-testern tog det ytterligare 5–12 dagar att se signifikanta skillnader mellan gödselgivorna/leden. För Vultus kunde inga skillnader ses mellan leden även om skillnad kunde ses med ögat 28 dagar efter kompletteringsgödslingen. Linjära regressioner gjordes också för att hitta en formel som skulle kunna användas för att översätta N-tester och N-sensornvärdena till bladskafsanalysen, men där behövs det ytterligare försök för att komma fram till en ekvation som fungerar.

Nyckelord: kväve, kompletteringsgödning, bladskafsanalys, Yara N-sensor, Yara N-tester, fjärranalys med Vultus system,

Abstract

Nitrogen is an important nutrient for the plant because it is involved in many important functions, such as constituents of proteins that takes part in photosynthesis, but also chlorophyll molecules, DNA and RNA. The supply of nitrogen is important to optimize in starch potatoes (*Solanum tuberosum*) both to get a high yield with a high starch content but also for the aspect of reducing leaching. Before any supplementary fertilization, the nitrogen status of the potatoes can be measured, which can then form the basis for an optimized decision regarding the amount of fertilizer to be applied. Petiole sap analysis is one of the most common methods used to measure nitrogen status in the field. In the petiole sap analysis, the nitrate concentration in the petiole sap is analyzed. It is this method that Lyckeby (Kristianstad, Sweden) use to help the starch growers to optimize their nitrogen supply. The petiole sap analysis method is somewhat labour intensive, therefore in this work a comparison has been made between the petiole sap analysis and other methods, such as; Yara N-sensor, Yara N-tester and satellite images from Vultus. This with the aim of possibly finding a new, less work-intensive method of measuring the nitrogen status of potatoes and thereby replacing the current petiole sap analysis. As a basis for this work, two experiments have been carried out around the city Kristianstad. The design of the experiments was a randomized plot-experiment with three blocks with four different plots with different supplementary fertilizer applications (100 kg N/ha, 150 kg N/ha, 200 kg N/ha, 250 kg N/ha). Measurements were performed nine times during the summer, for each occasion, measurements were performed using each of the above methods. In this way, data collected from each measurement method could be compiled and then subjected to a comparison between each other to ultimately see if the measurement methods gave similar results. Grower experiments were also performed at four growers to test the methods in the field. It was found that the N-sensor and the N-tester correlate strong to the petiole sap analysis from 34 days after emergence and onwards. However, the satellite images from Vultus never correlated with the petiole sap analysis. A significant difference between the different fertilizer applications could be seen 16 days after the supplementary fertilization with the petiole sap analysis, where treatment 1 (100 kg N/ha) had the lowest and treatment 4 (250 kg N/ha) the highest concentration of nitrate. With the N-sensor and the N-tester it took another five to twelve days to see significant differences between the fertilizer applications. For Vultus, no differences could be seen between the treatments, although a difference could be seen with the eye 28 days after the supplementary fertilization. Linear regressions were also made to find an equation that could be used to translate N-tester and the N-sensor values to the petiole sap analysis, but further trials are needed to find an equation that works.

Keywords: nitrogen, supplementary fertilization, petiole sap analysis, Yara N-sensor, Yara N-tester, remote sensing with Vultus system

Förord

Jag vill börja med att säga ett stort tack till Lyckeby (Kristianstad, Sverige) för att jag fick möjligheten att göra mitt självständiga arbete hos er. Där Stefan Hansson (biträdande handledare) organiserade ett försök tillsammans med Yara (Oslo, Norge) och Vultus (Lund, Sverige), kul att de också ville vara med på ett hörn i mitt självständiga arbete, där Knud Nissen från Yara gav en snabb service vid konvertering av filer. Även snabb service av Vultus (Lund, Sverige), där Haidi Abdullah tog fram data från satellitbilderna från Vultus snabbt. Hushållningssällskapet i Kristianstad som stod för skötseln av försöken ska också ha ett stort tack för sitt arbete. Utöver försöken utfördes också fyra fältobservationer och jag vill tacka de fyra odlarna för att jag fick göra mina mätningar i deras fält. Till sist vill jag också tacka mina två handledare Karin Hamnér och Kristin Piikki för all hjälp med både själva utformningen av mitt arbete och hjälpen vid analysen av all data.

Innehållsförteckning

| | |
|--|-----------|
| 1. Inledning | 10 |
| 1.1. Syfte | 11 |
| 1.2. Frågeställning | 11 |
| 1.3. Avgränsning | 11 |
| 2. Bakgrund | 12 |
| 2.1. Kväve i marken | 12 |
| 2.2. Kväve i växten | 13 |
| 2.3. Kväveupptag i potatis | 14 |
| 2.4. Näringskoncentration i potatisen under säsongen | 16 |
| 2.5. Tillförsel av kväve till potatis | 16 |
| 2.6. Metoder för att bedöma kvävebehovet | 18 |
| 2.6.1. Bladskafsanalys | 22 |
| 2.6.2. N-sensor | 25 |
| 2.6.3. N-tester | 28 |
| 2.6.4. Vultus satellitbilder | 31 |
| 3. Material & Metod | 35 |
| 3.1. Upplägg | 35 |
| 3.1.1. Försöken | 35 |
| 3.1.2. Önnestad | 37 |
| 3.1.3. Helgegården | 39 |
| 3.2. Fältobservationerna | 40 |
| 3.2.1. Vittskövle | 41 |
| 3.2.2. Gälds Köpinge | 41 |
| 3.2.3. Köpingebro | 42 |
| 3.2.4. Olseröd | 42 |
| 3.3. Mätning och analys | 43 |
| 3.3.1. Bladskafsanalysen | 43 |
| 3.3.2. N-sensor | 45 |
| 3.3.3. N-tester | 45 |
| 3.3.4. Satellitbilder från Vultus | 46 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.4. | Analys av mätdata | 46 |
| 4. | Resultat..... | 47 |
| 4.1. | Översikt..... | 47 |
| 4.1.1. | Försöken | 47 |
| 4.1.2. | Fältobservationerna | 52 |
| 4.2. | Jämförelse mellan metoder | 52 |
| 4.2.1. | Försöken | 53 |
| 4.2.2. | Fältobservationerna | 54 |
| 4.2.3. | Potatisutvecklingens inverkan på mätningarna | 55 |
| 4.3. | Omvandla värdena från N-sensor, N-tester och Vultus till bladskafthanalysens värde | 58 |
| 4.3.1. | Försöken | 58 |
| 4.3.2. | Fältobservationerna | 62 |
| 5. | Diskussion..... | 64 |
| 5.1.1. | En jämförelse mellan bladskafthanalysen och metoderna N-sensor, N- tester och Vultus | 64 |
| 5.1.2. | Vilken metod ser kvävebrist först och led potatisen av kvävebrist? ... | 66 |
| 5.1.3. | Hur väl fungerar fjärranalys med Vultus system att bedöma kvävestatus i stärkelsepotatis? | 69 |
| 5.1.4. | Möjliga felkällor | 70 |
| 5.1.5. | Att tänka för framtida försök..... | 71 |
| 6. | Slutsats | 73 |
| 7. | Referenser | 74 |

1. Inledning

Kväve är ett näringsämne som växten är beroende av för att kunna växa (Eriksson et al., 2019) och är det näringsämne som påverkar skörden mest (Ekelöf & Råberg, 2011; Jordbruksverket, 2021; Linnér, 1995). Kväve ingår i proteiner, bland annat som lagringsproteiner i potatisknölar men dessutom som enzymer inbegripna i fotosyntesen (Ekelöf & Råberg, 2011). Kväve ingår också i klorofyllmolekyler, samt DNA och RNA. En kvävebrist kommer medföra små och outvecklade plantor (Eriksson et al., 2019).

Stärkelsepotatis är potatis som odlas för att få ut stärkelse ifrån. Utöver att det fås fram nativ stärkelse, förädlas också stärkelseprodukter till både livsmedelsindustrin och pappersindustrin. Stärkelsen och fibern som går till livsmedelsbranschen har sin primära användning som ersättning till fetter, att binda vatten, ge konsistens i maten men också fungera som emulgator.

Stärkelsepotatis är en gröda där kväveoptimering är viktigt för att både få en hög skörd och för att få en hög stärkelsehalt. Det är viktigt att dela upp givan och inför kompletteringsgödsling är det betydelsefullt att ha en tillförlitlig metod att mäta kväveinnehållet i grödan, allt för att kunna uppskatta kvävebehovet på ett bra sätt. Vikten av kväveoptimering är både viktig för grödan själv och för minimeringen av risken för utlakning. Kväveutlakning kan ske om N-tillförseln blir för hög i relation till skördepotentialen. Extra viktigt är det med kväveoptimering i potatis då de oftast odlas på lätta jordar som har hög genomsläpplighet och sämre vattenhållandeförmåga.

Företaget Lyckeby (Kristianstad, Sverige) som producerar och utvecklar stärkelseprodukter använder sig av bladskafsanalys för att hjälpa lantbrukarna att komplettera med rätt mängd kväve till sin stärkelsepotatis. Denna metod kräver en del handarbete vilket tar sin tid. Under sommaren 2020 gjordes därför ett pilotprojekt med Yara N-sensor för att testa om det fanns ett samband mellan bladskafsanalys och N-sensor. Efter en sammanställning kunde det ses att det verkade finnas ett samband mellan dessa metoder. Därifrån utvecklades försöket som utfördes under sommaren 2021 som står till grund till detta självständiga arbete. Utöver Yara N-sensor testades även andra metoder som N-tester och satellitbilder från företaget Vultus (Lund, Sverige) för att se om dessa metoder kan ersätta dagens bladskafsanalys.

1.1. Syfte

Syftet är att hitta tekniska hjälpmedel att mäta kvävebehov inför tilläggsgödsling i stärkelsepotatis. Det vill säga hitta en metod som kan ersätta dagens bladskafsanalys, som kräver mindre arbetsinsats och som är lika bra på att uppskatta gödslingsbehovet.

1.2. Frågeställning

- Hur korrelerar de testade metoderna (satellitbilder från Vultus, Yara N-sensor, Yara N-tester) med bladskafsanalysen?
- Hur väl fungerar de olika metoderna vid olika tidpunkter/utvecklingsstadier under säsongen?
- Är det någon skillnad mellan metoderna beroende på hur stor kvävegiva som har tillförts fältet?

1.3. Avgränsning

Avgränsningar som gjorts är att försöken som arbetet grundar sig på endast omfattar stärkelsepotatissorten Kuras och det är bara ett års försök som står till grund för sammanställningen. Det är också endast fyra olika metoder som jämförs, trots att det säkerligen finns ytterligare metoder intressanta för en jämförelse.

2. Bakgrund

2.1. Kväve i marken

Kväve kan förekomma i marken i flera olika former. Kväve kan vara löst i marklösningen antingen som nitrat- och ammoniumjoner eller i organiska föreningar. Det kan också vara adsorberat till lermineraler genom utbytbar form eller fixerat genom ammoniumjoner. Kväve kan också vara bundet i proteiner, aminosyror, peptider och humusämnen i organiskt material som NH_2 -grupper (Eriksson et al., 2019).

Organiskt bundet kväve kan via mykorrhiza tas upp av växter, då i form av separata aminosyror och även som peptider. Upptaget av kväve tas dock till största grad upp som ammonium- och nitratjoner. Mineralkvävet (NH_4^+ och NO_3^-) blir tillgängligt genom mineralisering, där mikroorganismer omvandlar organiskt bundet kväve till oorganiskt kväve. Omvandlingen från oorganiskt kväve till organiskt kväve kan också ske genom mikrobiell aktivitet och det kallas immobilisering. Mineralisering och immobilisering är två processer som sker parallellt. Det som avgör vilken process som föregår mest beror på mängden energi som finns tillgängligt för mikroorganismerna och deras tillväxt och även kväveinnehållet i de energirika föreningarna. C/N- kvoten spelar också in, där låga kvoter ger en nettomineralisering och höga medför nettoimmobilisering (Eriksson et al., 2019).

En annan process som finns i kvävetets kretslopp är nitrifikation. Nitrifikation innebär att ammoniumjoner oxideras till nitrat via nitrit och detta sker under aeroba förhållanden. Nitrifikationsbakterier utför denna oxidation. Vid anaeroba förhållanden sker denitrifikation vilket är en reduktion av nitrat till kvävgas eller dikväveoxid (lustgas). Reduktionen görs av denitrifikationsbakterier och medför att marken förlorar kväve till luften (Eriksson et al., 2019).

Kvävefixering är ett annat förlopp där kväve ingår. Det är hos baljväxter som kvävefixering kan ske genom rotsymbios med hjälp av bakterier som är kvävefixerande. Kvävgas från luften reduceras till ammoniak som i sin tur reagerar

med karboxylsyror som gör att det uppstår aminosyror som är växttillgängliga (Eriksson et al., 2019).

Kväveutlakning är ett annat flöde av kväve, här lämnar kväve markprofilen. I lerjordar är ammoniumjonernas utlakning knapp, till följd av att jonerna antingen fixeras till lermineraler eller binds till negativa laddningar på markpartiklarna. Däremot är utlakning vanligare i lättare jordar som sand- och mojordar, främst när gödselgivorna är höga. Ammoniumjonerna lakas ut till en liten grad bland annat på grund av att nitrifikationsprocessen är effektiv på jordbruksmark. Nitrat är däremot en form av kväve som lakas ut lätt framför allt på grund av dess goda rörlighet. Anjonen nitrat adsorberas svagt och kan inte bindas till de negativa markpartiklarna på grund av att anjonen också själv är negativ laddad, vilket är anledningen till att nitrat lätt lakas ut. Utlakning genom organiskt bundet kväve kan också ske genom att organiskt material som är lösligt tar med sig kväve vid utlakningen (Eriksson et al., 2019).

Allt kväve i marken är inte tillgängligt för växten utan en del är oåtkomligt. Andelen växttillgängligt kväve påverkas av flera olika faktorer. Rotsystemets djup, jordart, förfruktens kvävebidrag, odlingstekniken är några faktorer som påverkar tillgängligheten av kväve. Olika grödor har skilda rotdjup där till exempel potatis har grunda rötter och kan därför endast ta upp näring från det översta markskiktet. Höstvet (*Triticum aestivum*) är en gröda med djupare rotsystem vilket ger möjligheten att ta upp näring från djupare delar av markprofilen. Det gör att även om det finns växttillgängligt kväve i markprofilen så är det inte alltid möjligt för rötterna att ta upp näringen, då kvävet är tillgängligt under rotsystemet. Tillgängligheten styrs också av vilken jordart som finns på fältet, lättare jordar påverkar kväveeffekten mer om innehållet på markkvävet förändras jämfört med styvare jordar. En annan sak som påverkar tillgången på växttillgängligt kväve är förfrukten. Om förfrukten till exempel har varit en baljväxt så bidrar det med stora mängder kväve i marken till nästkommande gröda. En kontinuerlig användning av stallgödsel är en annan faktor som medför en ökad andel mineralkväve (Mattsson, 1989).

2.2. Kväve i växten

Växtens rötter tar upp kväve från marken i form av nitrat- eller ammoniumkväve (Ekelöf & Råberg, 2011). Nitratkväveupptaget sker antingen genom massflöde eller diffusion. Massflödet sker i samband med vattenupptaget där nitratkvävet kommer in i växten i jonformen NO_3^- . Det vill säga är inte denna process aktiv utan nitratkvävet kommer in i växten oavsett om det finns ett behov eller inte (Yngveson, 2014). Diffusionen sker genom att jonerna går från högre till en lägre koncentration

(Ekelöf & Råberg, 2011). Kvävet kan tas upp i ammoniumform (NH_4^+), men för att upptag ska kunna ske måste det vara i nära kontakt med roten. Fördelen med detta upptag är att ammoniumkvävet direkt kan bindas in i aminosyror och proteiner. Den största delen av kvävet tas dock upp som nitratkväve. Nitratet måste först reduceras till ammonium innan en bildning av aminosyror och protein kan börja (Yngveson, 2014).

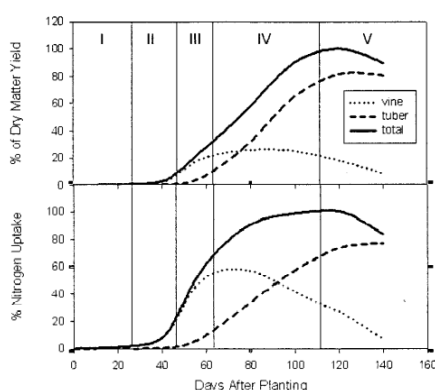
Kväve är ett viktigt näringsämne för grödan då det är beståndsdel i proteiner (Eriksson et al., 2019), till exempel i lagringsproteiner i potatisknölen (Ekelöf & Råberg, 2011). Kväve ingår också i enzymer till fotosyntesen (Ekelöf & Råberg, 2011), klorofyllmolekyler, samt DNA och RNA (Eriksson et al., 2019). En viktig funktion som kväve är inblandad i är kolhydratomsättningen i växten. Vid för lite kvävetillförsel leder det till små, utvecklade plantor (Eriksson et al., 2019), och hos potatis även mindre knölar och en tidigare avmognad (Ekelöf & Råberg, 2011). Kvävebrist visas först på de äldre bladen eftersom kväve är mobilt, utöver små och utvecklade plantor tillkommer därmed det dessutom en förändring i färg till ljusgrön eller gul färg. I bladen är klorofyll ett av de viktigaste pigmentet och är det som ger plantan sin färg/grönhet (Muñoz-Huerta et al., 2013). I och med att kväve är en byggsten i klorofyll gör det att färgen/grönheten överensstämmer väl till kvävestatusen i grödan (Ekelöf & Råberg, 2011; Pagola et al., 2009).

2.3. Kväveupptag i potatis

Potatisen tar endast upp kväve från den översta delen (0–30 cm) av markprofilen, på grund av sitt grunda rotsystem (Linnér, 1995; Mattsson, 1989). Det upptagna kvävet transporteras sedan genom stammen till bladen. I bladen sker det en omvandling där nitratet blir protein och aminosyror (Linnér, 1995).

Potatisens kväveupptag kan delas in i fem olika faser under säsongen, se figur 1. (Westermann, 1993; Zebarth & Rosen, 2007). Första fasen är från sättnings och cirka 30 dagar framåt (Zebarth & Rosen, 2007). Här sker inget kväveupptag då det inte har bildats några rötter. Energin till tillväxt fås endast från sättningsknölen eftersom inte fotosyntesen är igång än (Westermann, 1993). Fas två som är den vegetativa fasen tar sedan vid mellan dag 30 och dag 55 efter sättnings (Zebarth & Rosen, 2007). Näring från marken tas upp av rötterna och det är under denna period som också fotosyntesen börjar. Fotosyntesen fungerar som energikälla till den vegetativa tillväxten och utvecklingen (Westermann, 1993). I slutet av andra fasen har endast 20 % av kväveupptaget inträffat, en hög kvävegiva under de två inledande faserna kan på så sätt medföra större risk för både utlakning och en försening av knölbildningen (Zebarth & Rosen, 2007). Vid 50-70 dagar efter sättnings är kväveupptaget inne i fas tre och det är även här kväveupptaget tilltar (Zebarth &

Rosen, 2007). Bildning av knölen påbörjas vilket gör att fotosyntesen måste binda in extra energi i kolhydrater utöver den energi som behövs för tillväxten av potatisens andra delar (Westermann, 1993). I fjärde fasen som kallas knölsammanslagningen, börjar tillväxten av de vegetativa delarna avta (Zebarth & Rosen, 2007). Det största upptaget av kväve sker under denna fas och i slutet av fas fyra börjar kväveupptaget avta (Westermann, 1993). Efterfrågan är stor på kväve under denna fas men trots det kan en för hög kvävegiva medföra vegetativ tillväxt till kostnad av knölsammanslagningen (Zebarth & Rosen, 2007). Tidiga sorter har sin fjärde fas mellan 60 och 90 dagar efter sättnings medan senare sorter har sin mellan 70 och 120 dagar efter sättnings (Zebarth & Rosen, 2007). Stärkelsesorten Kuras som har studerats i detta arbete är en medelsen till sen sort (KMCAgro, 2022). Utvecklingen av potatisen fortsätter såvida inget näringsämne saknas som förhindrar utvecklingen. Nästintill all energi i form av kolhydrater (sackaros) går till knölen där det omvandlas till stärkelse (Westermann, 1993). I sista och femte fasen börjar mognaden av potatisen och här sker det inget eller ett obetydligt kväveupptag (Zebarth & Rosen, 2007). Knölen når sitt maximala innehåll av torrs substans. I princip allt kväve (90%) förflyttas från både rötter och potatisens blast till knölen vid mognaden (Westermann, 1993). I de två sista faserna kan en sen kvävegiva leda till sämre kvalitet på knölen och även göra det svårt att lagra potatisen (Westermann, 1993). En kvalitetskada som kan uppstå är brunfärgat eller ihåligt centrum av knölen. Bidragande faktorer till dessa kvalitetskadorna är knölstorlek, tillväxttakten av knölen men också temperatur, fukt och tillväxten av knölen vilket i sin tur då också påverkar kvaliteten (Zebarth & Rosen, 2007). Den ovannämnda kvalitetskadan uppstår främst vid ojämna halter av kväve i fas fyra. Ojämn kvävetillgång i denna fas kan också medföra en sjukdomskänslig planta men också nedsatt potential för hög skörd (Ekelöf & Råberg, 2011).

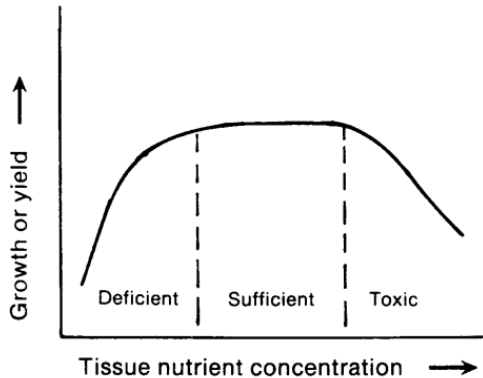


Figur 1: Potatisens kväveupptag och skörden av torrs substansen kan delas upp i fem olika faser. Faserna delas in utifrån hur många dagar potatisen är efter sättnings (x-axeln). Fördelningen mellan de vegetativa delarna, knölen och totalt kan ses utifrån de olika linjerna. Y-axeln är i procent ut av den maximala torrs substansskörden och maximala kväveupptaget (Westermann, 1993; Zebarth & Rosen, 2007).

2.4. Näringskoncentration i potatisen under säsongen

Koncentrationen av näring förändras med åldern på plantan, där koncentrationen av kväve sjunker med ålder i de vegetativa delarna, om inte kväve tillförs under säsongen (Vitosh & Silva, 1996; Westermann, 1993). Under fas tre är koncentrationen som högst i de vegetativa delarna av plantan som sedan sjunker till fas fem när mognaden börjar (Westermann, 1993). Genom att komplettera med gödsel kan minskningen av nitratkoncentrationen fördröjas och/eller inte bli lika stor under säsongen (Vitosh & Silva, 1996).

I figur 2 visas förhållandet mellan tillväxten/skörden och växtvävnadens näringskoncentration. Det är en låg tillväxt när näringskoncentrationen är låg (bristområdet i figur 2) och vid ökad mängd näring ökar också tillväxten. Tillväxten fortsätter att öka så länge näringen inte är någon begränsning. Toxicitet kan dock bli ett problem om allt för stor näringstillförsel sker. Även om det finns tillräckligt med kväve kan tillväxten bli hämmad av toxicitet. Innan grödan lider av toxicitet börjar växten visa kvalitetsproblem. Även är det främst NH_4^+ som är toxiskt, så problem med toxicitet uppkommer framförallt om inte växten har möjlighet att omvandla NH_4^+ till NO_3^- eller organiska föreningar. Oavsett är det optimala för växten är att hålla näringskoncentrationen i fönstret ”tillräckligt” i alla växtstadier för att ge bästa förutsättningar för plantan (Westermann, 1993).



Figur 2: Förhållandet mellan näringskoncentrationen i växtvävnaden och tillväxten/skörden. Det finns tre fönster; brist, tillräckligt, toxicitet. Målsättningen är att ligga i fönstret för ”tillräckligt” (Westermann, 1993).

2.5. Tillförsel av kväve till potatis.

I potatis är det viktigt att använda kvävet på rätt sätt gällande timing, mängd och även metod av tillförsel för att få största avkastning med god kvalitet (Leadershok, 2004). Kväve är det näringsämne som har störst inverkan på både kvalitet och avkastning hos potatis (Jordbruksverket, 2021; Linnér, 1995) och dessutom mest begränsande för potatisens tillväxt (Zebarth & Rosen, 2007). Att tillföra rätt mängd

kväve är utgångspunkten för en hög produktion. Försenad knölotveckling och för kraftig blastutveckling kan förekomma om en för stor kvävegiva ges i början av säsongen. Kvaliteten kan också bli hämmad om det finns ett överskott av kväve under knölotvecklingen (Linnér, 1995; Westermann, 1993). Växstsäsongen längd varierar också mellan sorter där tidiga sorter som behöver sköras tidigare också behöver mindre näring (Westermann, 1993).

Genom att optimera användandet av kvävet kan kväveutnyttjandet bli effektivare och samtidigt minskar risken för läckage. Potatis är en gröda som oftast odlas på lätta jordar, exempelvis sandjordar vilket gör att risken blir större för utlakning av bland annat kväve (Leadershok, 2004). Lättare jordar är mer benägna till utlakning med anledning av en sämre vattenhållandeförmåga och en god genomsläpplighet (Linnér, 1995).

Både Jordbruksverket (2021); Leadershok (2004); Linnér (1995) menar att det ger ett bättre kväveutnyttjande att dela upp kvävegivan som i sin tur leder till högre skördar med god kvalitet. Delad giva är också att föredra med tanke på att potatisens växstsäsong är lång och kräver näring under en lång tid. Proportionen av tillväxten mellan blast- och knölotvecklingen blir också mer gynnsam med delad kvävegiva (Jordbruksverket, 2021), där till exempel hög giva kan medföra ökad blasttillväxt (Ekelöf & Råberg, 2011). Oavsett engångsgiva eller delad giva så blir kväveutnyttjandet blir bättre vid en god vattenstatus i fältet, så att ha tillgång till bevattning är att föredra (Jordbruksverket, 2021).

Kväveutnyttjandet blir bättre om en relativ stor kvävegiva ges före sättnings och därefter ges kompletteringsgivor under säsongen. Det rekommenderas att ge 50–70% av den totala givan före sättnings och sedan komplettera med kväve ungefär fyra veckor efter uppkomst. Om grödan behöver ännu mer kväve så kan det tillföras två till tre veckor efter första kompletteringsstillfället (Leadershok, 2004). I rapporten av Jordbruksverket (2021) finns ungefär samma rekommendationer för gödsling till potatis. De rekommenderar 50 % vid sättnings och sedan två lika stora kompletteringsgivor (25 + 25 %) tre respektive sex veckor efter uppkomst. Att tillföra en lagom mängd innan sättnings medför att knölsättnings kan börja tidigare (Leadershok, 2004). Uppdelad kvävegiva ger också möjlighet att se hur grödan utvecklas och ger chansen till att anpassa tillförseln vid kompletteringsgödslingen (Jordbruksverket, 2021; Leadershok, 2004). Inför sista kompletteringsgivan bör både blastutveckling och tillväxten ses över för att uppskatta ungefärlig tid kvar till mognad (Jordbruksverket, 2021).

Att mäta och analysera kväveinnehållet i grödan under säsongen kan hjälpa till att optimera kvävegivan (Linnér, 1995). Det är dock viktigt att ha i åtanke att kvävegivan och optimal gödslingstidpunkt varierar beroende på plats (Leadershok,

2004) men också sort, förväntad skörd och beroende på vad potatisen ska användas till (Jordbruksverket, 2021). Vatten är en viktig faktor som påverkar upptaget av kväve. Vid torra försvåras upptaget jämfört om potatisen är väl bevattnad. När potatisen är välsedd med vatten blir också utlakningen mindre eftersom upptaget av kväve då är bättre (Linnér, 1995). En annan faktor som ökar kväveutnyttjandet är om kvävet tillförs i form av radgödning (Jordbruksverket, 2021). Genom att använda sig av radgödning så placeras gödseln i nära kontakt med rötterna vilket gör det lättare för rötterna att ta upp näring från marken. När plantorna är små och rotsystemet inte är utvecklat är det extra viktigt att tillgodose plantan med lättåtkomlig näring för att tillväxt ska kunna ske (Ekbladh et al., 2004).

2.6. Metoder för att bedöma kvävebehovet

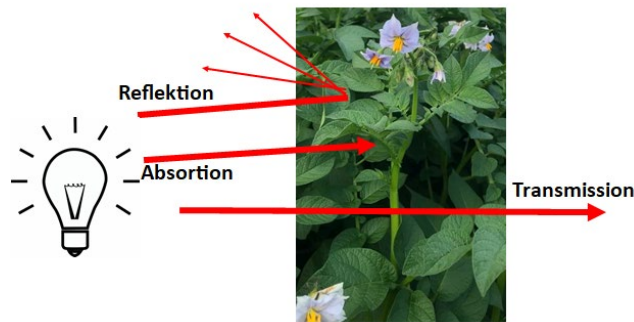
Det finns olika metoder att mäta och uppskatta kväveinnehållet i grödan och med detta som grund försöka optimera kvävegivan vid tilläggsgödningar under säsongen. Nedan följer en beskrivning av de fyra olika metoder som har utvärderats i studien: bladskafsanalys, N-sensor, N-tester samt fjärranalys med Vultus system.

Bladskafsanalysen och N-testern bedömer kvävestatusen på bladnivå (Ali et al., 2017; Larsson Jönsson & Knutsson, 2016; Linnér, 1995; Vitosh & Silva, 1996; Westermann, 1993) medan N-sensor (Heege et al., 2008) och fjärranalys med Vultus system (Lindgren, 2022) bedömer kvävestatusen på beståndsnivå. Bladskafsanalysen mäter nitratkoncentrationen i grödan/bladskafsten (Muñoz-Huerta et al., 2013). Nitratkoncentrationen i bladskafsten avspeglar balansen mellan nyligen upptaget nitrat i växten och nitratminskningen i bladet. Denna balans kan ses i bladskafsten på grund av att bladskafsten fungerar som ett transportorgan från rötterna till bladet (Zebarth & Rosen, 2007). För resterande tre metoder används olika ljus med olika våglängder för att bedöma kvävebehovet hos grödan.

Använda ljus med olika våglängder för att bedöma kvävebehovet

Elektromagnetisk strålning används i sensorer, där fotoner sänds ut. Den elektromagnetiska strålningen har både olika våglängder (i nanometer) och fotonerna som sänds ut har olika mycket energi. Vid korta våglängder har fotonerna högre energi jämfört med längre våglängder (Heege & Thiessen, 2013). När en yta träffas av ljus kan antingen ljuset reflekteras, absorberas och/eller transmitteras (Figur 3). Vilken av interaktionerna som sker beror på vilket material som träffas och vilken del av det elektromagnetiska spektrum som används. Absorption är ett mått på hur mycket av det infallande ljuset som tas upp av materialet som träffas av ljuset. Reflektansen är ett mått på hur mycket ljus som studsar bort från materialet i olika riktningar. Transmittansen är ett mått på hur mycket ljus som

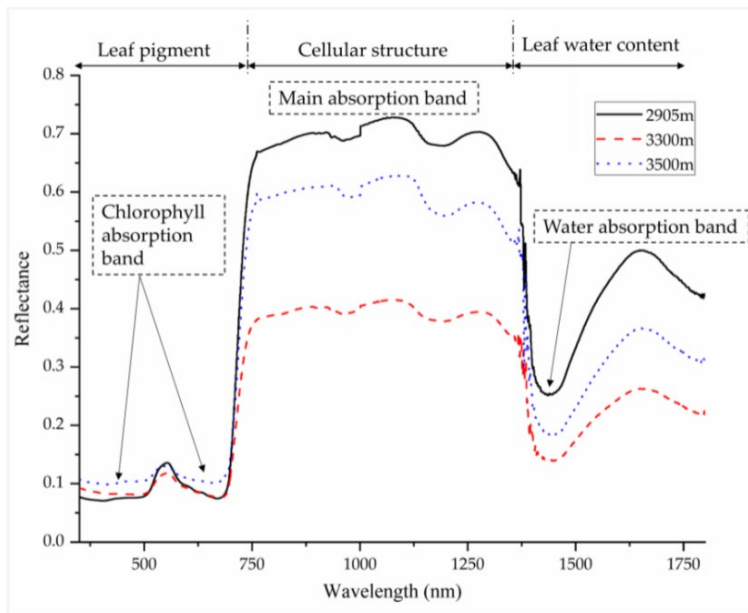
överförs av det infallande ljuset. (Bergsträsser et al., 2015; Eastman, 2001; Heege & Thiessen, 2013). Inom precisionsodling används spektrumet för synligt och infraröda (IR) och nära infraröda (NIR) strålningen för att mäta reflektansen och/eller transmittansen i grödan (Heege & Thiessen, 2013). Precisionsodling som i huvudsak byggs på att anpassa odlingsåtgärder för att hantera variationer inom fält (Pierce & Nowak, 1999).



Figur 3: En schematisk bild på att ljuset kan antingen reflekteras, absorberas och/eller transmittteras när det träffar grödan.

Det huvudsakliga pigmentet som finns i växter är klorofyll och är det som ger plantan sin färg (Muñoz-Huerta et al., 2013; Zhu et al., 2020). Det finns en stark koppling mellan klorofyll och kvävestatusen i och med att kväve är en byggsten i klorofyllet (Ali et al., 2017; Pagola et al., 2009; Penuelas & Filella, 1998). Klorofyll absorberar rött och blått ljus och reflekterar grönt ljus, vilket gör att bladen ses som gröna med ögat (Penuelas et al., 1995). Ljusreflektansen används bland annat för att bestämma klorofyllinnehållet i grödan. Bestämningen av klorofyllinnehållet görs genom att två skilda våglängder används för att registrera reflektansen, där det används en våglängd som absorberar klorofyll svagt och en som absorberar klorofyll starkt (Datt, 1999). Figur 4 visar olika ljus spektrum, våglängderna mellan 400 och 700 nanometer är i det synliga spektrumet och här är absorptionen stark av pigmentet klorofyll och reflektansen är låg. Sedan finns det ett område som kallas red edge (RE) som ligger området på gränsen mellan det synliga och nära infraröda spektrumet som går från ca 680 nanometer till 730 nanometer. I red edge ökar reflektansen ökar markant som ses i figur 4 med en vertikal linje. I det nära infraröda (NIR) spektrumet (700-1300 nanometer) är absorptionen svag och reflektansen stark (Datt, 1999; Penuelas & Filella, 1998). För våglängderna mellan 700 till 1300 nanometer styrs reflektansen av cellstrukturen i bladet (Penuelas & Filella, 1998). I spektrumet för NIR styrs också reflektansen på LAI (bladyteindex). Reflektansen i NIR ökar med ökat LAI, det vill säga när grödbeståndet blir tätare (Heege & Thiessen, 2013). Vid 1300-3000 nanometer (SWIR, short wave infrared) är reflektansen anknuten till vattnets absorptionsegenskaper. Klorofyllet har två absorptions maximum, ett i det blå spektrumet och ett i det röda vid 675 nanometer. Medan reflektansmaximumet är vid våglängd 550 nanometer (gröna spektrumet).

Våglängden 550 nanometer används när koncentrationen av klorofyll är medel till högt, då denna våglängd har en högre känslighet för reflektansen. Vid låga koncentrationer av klorofyll används däremot den absorptions toppen (675 nanometer) då reflektansens känslighet är högre här (Penuelas & Filella, 1998).



Figur 4: I Zhu et al. (2020) diagram visas olika spektrum med olika våglängder. Synligt spektrum (400 – 700 nanometer), ljuset absorberas starkt av klorofyllet inom detta spektrumet, reflektansen är låg i det synliga spektrumet. I NIR (700-1300 nanometer) är absorptionen svag och reflektansen stark. Reflektansen styrs av cellstrukturen i bladet och på LAI (bladyteindex). Vid 1300-3000 nanometer (SWIR, short wave infrared) är reflektansen anknuten till vattnets absorptionssegenskaper (Penuelas & Filella, 1998).

N-testern använder sig av transmittansen i rött ljus (650 nanometer) och infraröda (940 nanometer) som sänds genom bladet. Det vill säga kan N-testern räkna ut hur mycket av det infraröda ljuset som har absorberas av klorofyllet. Mycket klorofyll i bladet orsakar att mycket ljus absorberas, vilket menas på att bladet innehåller mycket kväve (Lundström et al., 2000; Uddling et al., 2007).

N-sensorn (Ali et al., 2017; Muñoz-Huerta et al., 2013) och fjärranalys från Vultus system (Vultus, 2022) bedömer kvävestatusen genom ljusreflektans vid olika våglängder. Som beskrevs ovan så används det synliga ljuset till att mäta innehållet av klorofyll genom att det röda ljuset absorberas av klorofyllet. NIR ljus används för att få ett mått reflektansen hos bladens cellstruktur och LAI (Heege & Thiessen, 2013; Penuelas & Filella, 1998). Biomassan mäts eftersom olika stora kvävegivor ska ges beroende på planttätheten. Vid låg planttäthet är inte behovet lika stort av kväve och kan på sätt justeras till en mindre giva. En hög planttäthet och då hög biomassa har ett högre kvävebehov men får å andra sidan inte bli en för stor giva, eftersom det då finns risk för liggsäd. Ett mått på biomassan kan alltså till

exempelvis hjälpa till att förhindra liggsäd i spannmål. Klorofyllinnehållet mäts, precis som biomassan, för att få fram kvävebehovet hos grödan (Yara, 2021a).

Reflaktansen intensitet från de olika våglängdsbanden vägs samman till olika vegetationsindex, som beskriver olika förhållanden i grödan eller marken (Ali et al., 2017; Bannari et al., 1995). Normalized difference vegetation index (NDVI) är ett av de vanligaste vegetationsindexen som används (Rouse Jr et al., 1973). NDVI ger ett mått på hur vegetationen mår. Med formeln nedan kan NDVI räknas ut och kan variera mellan minus ett och ett. Vid ett tunt bestånd så är värdet 0,2 eller mindre (Ali et al., 2017). För ett tätt bestånd med gröna friska blad så ligger NDVI-värdet nära ett. Vid ett negativt värde eller noll-värde finns det ingen vegetation (Ali et al., 2017). Ekvation 1 används för att räkna ut NDVI där står "Red" för reflektans av rött ljus. NIR är reflektansen i det nära infraröda våglängdsområdet (Karnieli et al., 2010). Sammantaget är NDVI ett mått på grödans färg/grönhet som speglar kvävehalten (Bowen et al., 2005).

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \text{ (Ekvation 1)}$$

Ytterligare index som används är NDRE som är ett vegetationsindex som används för att bedöma hälsan på vegetationen, bland annat innehållet av klorofyll. Indexet räknas ut med ekvation 2, skillnaden mellan reflektansen mellan red edge cirka 700 nanometer, och NIR (Thompson et al., 2019). Indexet GNDVI ett mått på grönheten hos växten eller den fotosyntetiska aktiviteten. Vegetationsindexet är även linjärt korrelerat med Leaf Area Index (LAI) och biomassan. GNDVI räknas ut på liknande sätt som NDVI men istället för det röda våglängdsbandet så används våglängdsbandet för grönt ljus (Ekvation 3). En annan skillnad mellan NDVI och GNDVI är att GNDVI är mer känsligt för klorofyllhalten i vegetationen (Candiago et al., 2015).

$$NDRE = \frac{NIR-RE}{NIR+RE} \text{ (Ekvation 2)}$$

$$GNDVI = \frac{NIR-GREEN}{NDVI+GREEN} \text{ (Ekvation 3)}$$

Ett annat index som också finns är Modified soil-adjusted vegetation index (MSAVI2) som räknas ut med ekvation 4. Index som kan användas istället för NDVI när mycket mark syns och är även ett index som inte blir lika snabbt mättat som NDVI (Qi et al., 1994).

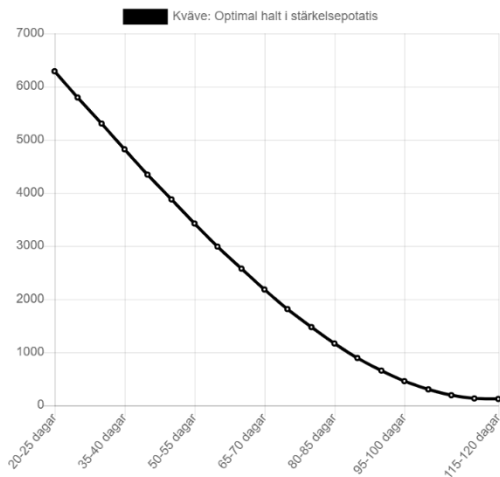
$$MSAVI2 = \frac{\left(2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED)}\right)}{2} \text{ (Ekvation 4)}$$

2.6.1. Bladskafsanalys

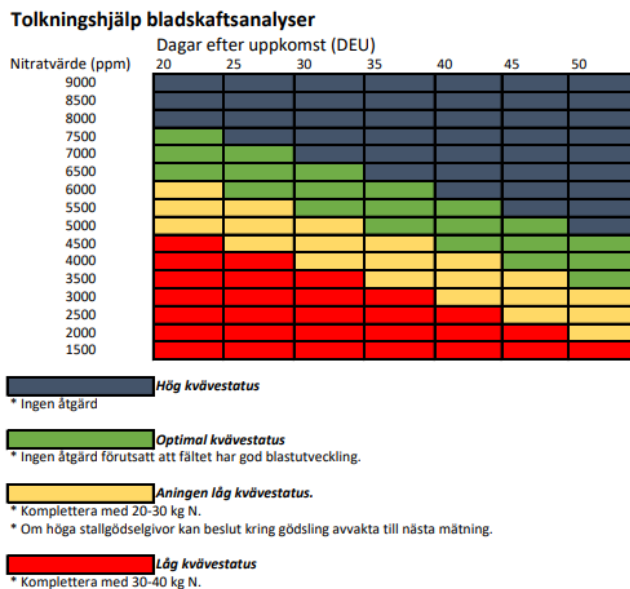
Bladskafsanalys började användas i mitten av 90-talet hos de som odlade matpotatis i Sverige (Rölin et al., 2018) och är idag en av de vanligaste metoderna att mäta kvävestatusen på (Zebarth & Rosen, 2007). Det är denna analysmetod Lyckeby (Kristianstad, Sverige) använder sig av idag för att bestämma nitratkoncentrationen i stärkelsepotatis. Bladskafsanalys är väl beprövad på Lyckeby (Kristianstad, Sverige) och har använts i många år för att hjälpa stärkelseodlare att bestämma kvävebehovet inför en eventuell kompletteringsgiva. Det är en metod som också påvisar brist innan själva plantan visar några synliga symtom (Larsson Jönsson & Knutsson, 2016). I bladskafsten kan koncentrationen av nitrat mätas för att ge en uppskattning om grödans kväveförsörjning (Linnér, 1995). Mätning av nitratkoncentrationen i bladskafssaften används ofta då den korrelerar med växtens kvävestatus (Muñoz-Huerta et al., 2013).

Bladskafsanalysen görs genom att i fält plocka cirka 40 stycken blad, ju fler blad desto bättre utvärdering kan ske av kvävestatusen i fältet (Rölin et al., 2018; Westermann, 1993). I försöksrutor plockas ett 20-tal blad i från plantorna för att få ett genomsnitt över området som analyseras (Larsson Jönsson & Knutsson, 2016). Om det finns skillnader i fält gällande jordart och gödsling bör det plockas prover för de separata delarna (Westermann, 1993).

Från varje insamlat blad plockas småbladen bort så att endast bladskafsten finns kvar. Sedan pressas saften ut ur bladskafsten med en press. Saften som kommer ut ska sedan analyseras i en NO_3 -tester, (Lyckeby använder sig av Horibas NO_3 -tester). Mätaren innehåller elektrokemiska sensorer som mäter jonkoncentrationen i saften. Det mäts specifika joner, i detta fall NO_3^- , genom jonselektiva membran som integrerar med en referenselektrod (Wetterlind, 2021). NO_3 -testern mäter nitratkoncentration (ppm) i bladskafssaften. Hos Lyckeby (Kristianstad, Sverige) bestäms det sedan, utifrån det värde som fås fram, hur mycket kväve som måste tillföras plantan, detta med hjälp av en kurva som har tagits fram av Lyckeby (Kristianstad, Sverige) själva (se figur 5). Referenskurvan för optimal kvävehalt i stärkelsepotatis har tagits fram efter tre års försök på Helgegården där kvävegivorna 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 kg N/ha användes. Under dessa försök utfördes en bladskafsanalys varje vecka under hela säsongen. Efter skörd av de olika leden visade det sig att 150 kg N/ha var optimum. Ett optimum baserat utifrån kvävepris, stärkelsehalt och skörden. Figur 6 är en tolkningshjälp om hur mycket kväve som ska tillföras utifrån vart man hamnar på kurvan. Det är att föredra att ligga lite över kurvan i början av säsongen för att ha marginal till senare på säsongen (Malm, 2022).



Figur 5: Optimala halten nitrat i stärkelsepotatis. Referenskurvan har tagits fram av Lyckeby utifrån ett treårigt fältförsök med sorten Kuras på Helgegården. Y-axeln visar nitratkoncentrationen (ppm) och x-axeln visar antalet dagar efter uppkomst av potatisen (Rölin et al., 2018).



Figur 6: En tolkningshjälp utifrån referenskurvan i figur 5. Till vänster ses de skilda nitratkoncentrationerna och i toppen ses dagar efter uppkomst. Det optimala är att ligga inom den gröna ytan. Om kvävestatusen hamnar på gult eller rött behövs en åtgärd tilltas.

Tidigare försök med bladskaftsanalys i potatis

Bladskaftsanalysen är ett snabbtest som har visats korrelera väl med växtanalyser som sker på laboratorier (Errebhi et al., 1998; Linnér, 1995; Rosen et al., 1996; Westcott et al., 1993; Williams & Maier, 1990). Nitratelektroden Cardy som är en av Horibas instrument som mäter nitratkoncentration i bladskaftssaften har använts i några försök (Rosen et al., 1996). Det är även det instrument som Lyckeby (Kristianstad, Sverige) använder sig av. Cardy-mätaren hade en korrelationskoefficient (r) på 0,956 år 1990 och 0,971 år 1991 när en jämförelse mellan snabbtestet och analyser på laboratorium gjordes. Det hittades heller ingen

signifikant skillnad i regressions ekvationerna gällande lutning och skärningspunkt mellan de två åren (Westcott et al., 1993). I ett annat försök gjordes en liknande jämförelse men med både Hach, en annan nitratelektrod, och Cardy som nitratelektroder. Mätning av nitrat i bladskaftssaften visade sig ha ett signifikant och linjärt samband i förhållande till en analys av nitrat innehållet genom en torrsubstansmätning. Cardy-mätaren hade en regressionskoefficient (R^2) på 0,91 och 0,92 för Hach. För de olika mätarna konstaterades även tröskelvärden för nitratkoncentrationen för potatisen vid olika utvecklingsstadier. Ungefär 15–30 dagar efter uppkomst (vegetativa/knölbildnings stadiet) var tröskelvärdet för nitratkoncentrationen med Cardy-mätaren på 1340-1450 mg/L och Hach-mätaren på 1300-1400 mg/L. Vid knölsammanslagningen (30–75 dagar efter uppkomst) var en tillräcklig nitratkoncentration för potatisen mellan 600-1350 mg/L och 550-1300 mg/L för respektive Cardy och Hach-mätaren. Med säsongen sjunker behovet av nitrat, så vid mognad räcker en koncentration mindre än 600 mg/L för Cardy och mindre än 550 mg/L för Hach. Slutsatsen som drogs var att potatisens kvävestatus kan bestämmas med hjälp av att analysera saften i bladskaften med nitratelektroder (Errebhi et al., 1998). Skillnaden mellan snabbtest och traditionella växtanalyser är att analysvärdet fås fram direkt (Larsson Jönsson & Knutsson, 2016; Williams & Maier, 1990) och samtidigt är ett billigt alternativ (Williams & Maier, 1990).

Vid bladskaftsanalys används det fjärde bladet uppfifrån, det vill säga det sista fullt utvecklade bladet hos potatisen (Larsson Jönsson & Knutsson, 2016; Linnér, 1995; Vitosh & Silva, 1996; Westermann, 1993). Utifrån ett antal försök har det visat sig vara det fjärde bladet uppfifrån som bäst indikerar kväve behovet i grödan (Svensson et al., 1995). Om ett annat blad än de fjärde plockas kan det ge en missvisande bild av kvävestatusen (Vitosh & Silva, 1996; Westermann, 1993).

Tidpunkten för provtagning är lämplig att göra cirka 25–35 dagar efter uppkomst när knölna är omkring fem cm stora (Ekelöf & Råberg, 2011). Vilket är ungefär 50-70 dagar efter sättnings, då kvävebehovet tilltar (Zebarth & Rosen, 2007). Provtagning som sker för tidigt kan ge felvisande resultat (Ekelöf & Råberg, 2011). Avvikande värde kan minimeras om bladen samlas in mellan klockan tio och tolv på förmiddagen (Vitosh & Silva, 1996).

Analyser av bladskaft kan vara till stor hjälp för att kunna bedöma kvävebehovet, där brister kan ses redan två veckor efter uppkomst (Muñoz-Huerta et al., 2013). Med hjälp av bladskaftsanalysen kan skillnader ses med olika kvävegivor vid alla utvecklingsstadier förutom i början av säsongen när potatisen ska kupas (Wu et al., 2007). När en analys görs behövs också faktorer som egenskaper för fältet, uppskattad skördenivå, tidpunkt för provtagning samt skördetidpunkt tas med i beaktan (Linnér, 1995). Andra faktorer som kan påverka nitratkoncentrationen är sort, dagar efter uppkomst, klimat, tillförd gödsel (Vitosh & Silva, 1996). Även

vattenstatusen hos grödan kan påverka nitratkoncentrationen. Vid torka blir nitratet mer koncentrerat och efter regn eller bevattning kan nitratkoncentrationen bli utspädd (Rölin et al., 2018).

2.6.2. N-sensor

Yara N-sensor började så smått användas från år 1998 i Sverige och är idag en av de vanligaste grödsensorn som används. Till en början användes sensorn nästintill endast i höstvetet och är även denna gröda som det finns mest erfarenhet i (Söderström et al., 2004). Men med åren så har systemet utvecklats så nu används N-sensorn till kvävegödsling också i andra grödor som korn (*Hordeum vulgare*), majs (*Zea Mays L.*), potatis, oljeväxter (*Brassica napus*) och lök (*Allium cepa*) (Ali et al., 2017).

N-sensor är ett instrument som med hjälp av sina sensorer kan mäta och registrera grödans kvävestatus och hittas på traktorns tak (Feiffer et al., 2003; Heege et al., 2008). I och med att spektrala mätningar görs av grödans reflektans så kan skillnader i kvävestatus i fältet ses. Det gör det möjligt att ge en varierad giva utifrån kvävebehovet i fältet när kompletteringsgödslingen ska ske (Feiffer et al., 2003). N-sensorn är kopplad till GPS vilket gör det möjligt att få ut en karta över det som mätts och gjorts i fältet. Därefter går det att gödsla utifrån det skilda kvävebehovet som finns på ett fält. Det gör det möjligt att optimera kvävegivan för olika delar av fältet och på det viset minska risken för kväveläckage men också minska risken för kvävebrist (Yara, 2021a). När kvävebehovet beräknas, tar systemet hänsyn till utvecklingsstadium, skördenivå och gröda (POS, 2021). För mindre ytor som försök kan handsensor användas, vilket gjordes till detta självständiga arbete.

Det används fyra stycken monterade sensorer, två på varje sida av traktorn, som mäter ljusreflektansen av grödan runt traktorn (Ali et al., 2017; Zebarth et al., 2002). Det finns två typer av sensorer, passiv och aktiv. Den passiva sensorn använder sig av elektromagnetiska vågor som finns naturligt, antingen solljuset eller strålning som avges från jorden. Den aktiva sensorn har sin egen ljuskälla (Heege & Thiessen, 2013). Den sensorn som användes till detta självständiga arbete är en aktiv sensor. Yaras aktiva N-sensor har en Xenon-flashlamp som skapar ett ljus som gör det möjligt att mäta ljusreflektansen hos grödan (Muñoz-Huerta et al., 2013). Det finns också en inbyggd spektrometer som fångar upp ljus från omgivningen. Ljuset som fångas upp används för att korrigera reflektanssignalen (Ali et al., 2017; Muñoz-Huerta et al., 2013).

Yara N-sensor använder sig av våglängderna 670, 730, 740 och 770 nanometer och utifrån våglängderna beräknas det sedan ut ett index som Yara (Oslo, Norge) använder sig av. Detta index är en företagshemlighet vilket gör att det inte har

förmedlats ut hur Yara's index beräknas, men det är ett index som används för att få ett mått på kväveupptaget i grödan. Men kan förklaras genom att det är ett red edge index som mäter reflektansen i huvudsak mellan 730 nanometer och 770 nanometer. Red edge index används istället för vegetations indexet NDVI då det tidigt blir mättat (närmar sig ett) när grödan blir tät och stor. Utifrån Yara's index kan sedan SN (sensor kväve) -värdet (kg N/ha) beräknas. Det görs genom att utifrån Yara's index som fås ut jämförs med en databas innehållande ett stort antal mätningar från år 2000, där det finns information om hur stort kväveupptaget är vid ett visst index värde vid ett visst utvecklingsstadium (Nissen, 2022).

Tidigare försök med N-sensor i potatis

Yara (Oslo, Norge) säger själva att Yara N-sensor fungerar att användas i potatis när en kompletteringsgödsling ska ske. Fem veckor efter uppkomst och framåt kan kompletteringsgödsling ske med N-sensor. Givan varieras efter hur grödan ser ut genom en medelgiva som baseras på uppskattad skördenivå (Yara, 2021a). Yara (Oslo, Norge) är inte lika säkra på nivån av indexet i potatis jämfört med vete (Lundström et al., 2000). Det har utvärderats hur bra N-sensorn är på att kartlägga kvävestatusen i potatis. Ett tvåårigt försök med olika kvävegivor användes för att bedöma förmågan hos N-sensorn att mäta och registrera kvävestatusen i potatis. I detta försök gjordes även en jämförelse med tre andra metoder; nitratkoncentration i bladskafte, SPAD-502 och Fieldscout klorofyllmätare. N-sensorn visade ha en god förmåga att mäta potatisens kvävestatus och var jämförbar med nitratkoncentrationen i bladskafte. I jämförelse med de båda klorofyllmätarna så var N-sensorn bättre på att mäta kvävestatusen. Fördelen med N-sensor är att det är den enda metoden, av de fyra som testades som också kan kartera den rumsliga variationen i kvävestatusen i ett potatisfält (Zebarth et al., 2002).

Tidigare försök med andra sensorer; GreenSeeker och CropScan i potatis



Figur 7: En bild på hur en GreenSeeker ser ut. Kan antingen vara handhållen eller vara monterad på traktorn (CropScan, 2018).

GreenSeeker (figur 7) är en annan aktiv grödsensor som mäter och registrerar ljusreflektansen på två våglängder, 660 nanometer (rött ljus) och 770 nanometer (NIR) (Ali et al., 2017; Muñoz-Huerta et al., 2013). Vegetationsindex NDVI har i ett försök visats ha ett samband med kvävestatusen i potatis när sensorn

GreenSeeker användes (Bowen et al., 2005; Yu et al., 2013). Utifrån GreenSeekers mätningar kunde brist upptäckas innan det syntes på grödan med ögat (Bowen et al., 2005). I ett annat försök med GreenSeeker sensorn påvisades däremot en svag korrelation mellan kvävestatus och NDVI under potatisens vegetativa tillväxtfas. En möjlig förklaring till den svaga korrelationen var att grödan inte var täckande och marken kan således påverkat sensorn. I samma försök visades kvävekoncentrationen, vid knölbildning när det var full radslutning, ha ett linjärt samband med vegetationsindexet NDVI (Yu, Li et al. 2013). GreenSeeker-sensorn är ytterligare ett verktyg som kan användas för att mäta potatisens kvävestatus (Bowen et al., 2005; Yu et al., 2013). Optiska metoder som mäter ljusreflektansen, så som GreenSeekern, kan dock ha svårt att bedöma kvävestatusen korrekt hos grödan om det finns ojämnheter i grödan jämfört om det är en homogen gröda över hela fältet. Vid växstsäsongens början när rader syns tydligt men också i slutet av växstsäsongen när grödan faller ihop fungerar inte heller de optiska metoderna lika bra (Zebarth & Rosen, 2007).



Figur 8: En bild på hur en CropScan kan se ut (CropScan, 2018).

Ett annat instrument som också har visat vara bra på att kunna bedöma kvävestatusen är den handhållna CropScan (figur 8) (Jongschaap & Booij, 2004). Jämfört med både Yara N-sensor och GreenSeeker så är CropScan en passiv sensor. Passiva sensorer är beroende av solljus för att mätningar ska kunna ske (Muñoz-Huerta et al., 2013). CropScan mäter reflektansen med åtta olika våglängder. Det är klorofyllhalten i bladen av plantan som mäts som sedan uttrycks genom vegetationsindexet NDVI (Jongschaap & Booij, 2004). En skillnad från GreenSeekern är att CropScan är i behov av att ta mätningar vid fler olika våglängder (Muñoz-Huerta et al., 2013).

Användning av sensorerna i andra grödor

I höstvetete där mest erfarenhet finns, har det gjorts ett stort antal försök som visar på att N-sensorn kan hjälpa till med att öka skörden, få en mer jämn proteinhalt och minska kväve utlakning (Söderström et al., 2004). Ett annat exempel är från en jämförelse har gjorts mellan Yara N-sensor och GreenSeekern i majs och vårvetefält. Analyser gjordes i ett visst utvecklingsstadium med hjälp av vegetationsindexet NDVI. I jämförelsen konstaterades det att den spektrala

informationen mättes med ett bredare våglängdsspann med hjälp av Yara N-sensorn jämfört med GreenSeekern. Båda mätinstrumenten kunde utifrån vegetationsindex påvisa variation i kvävestatus i vetet. Dock fanns det en skillnad vid mättad nivå av NDVI, där Yara N-sensorn var mindre känslig än GreenSeekern. I majs kunde båda sensorerna användas för att få fram kvävebehovet, men med vissa begränsningar gällande tillväxtstadiet. Det konstaterades också att Yara N-sensorn registrerar och mäter en större andel biomassa per enhet markyta än GreenSeekern (Muñoz-Huerta et al., 2013).

2.6.3. N-tester

YARA N-testern är en handhållet instrument som mäter klorofyllinnehållet genom en lysdioderna (Yara, 2017). För varje mätvärde N-testern tar fram, är det ett medelvärde av totalt 30 mätningar. Värdet som fås fram är ett enhetslöst värde som varierar mellan 0 och 800 för N-testern (Goffart et al., 2008). Utifrån värdet kan en N-giva i kg N/ha rekommenderas beroende på utvecklingsstadier, gröda och sort. Den rekommenderade N-givan är framtagen utifrån flera års försök (Yara, 2017).

Tidigare försök med klorofyllmätarna; SPAD-mätare och N-tester i potatis

Gianquinto et al. (2004) skriver att Vos and Bom (1993) var den första som testade klorofyllmätare i potatis. Tidigare har det dock gjorts många studier med klorofyllmätare men då i andra grödor.



Figur 9: En bild på en SPAD mätare (Goffart et al., 2008)

Utöver Yara N-tester så finns det en annan klorofyllmätare, SPAD-mätaren (figur 9), som använts i olika försök. SPAD-mätaren fungerar likadant som Yara N-testern, transmittansen mäts vid våglängderna 650 nanometer och 940 nanometer för att få fram klorofyllinnehållet i bladen. Värdena fås dock ut i en annan skala (Gianquinto et al., 2004) där klorofyllindexet går mellan noll och 50 (Goffart et al., 2008). En annan skillnad mellan de båda klorofyllmätarna är att för varje mätning med SPAD-mätaren fås ett värde fram, i jämförelse med N-testern där ett medelvärde utifrån 30 mätningar fås fram (Gianquinto et al., 2004). Nackdelen med Yara N-testern är att den inte visar spridningen hos mätvärdet likt SPAD-mätaren, istället erhålls ett genomsnittligt värde av de 30 mätningarna som görs (Gianquinto et al., 2004).

Gällande SPAD-mätaren har det påvisats ett samband mellan klorofyllinnehållet som erhålls från mätaren och klorofyllinnehåll från analytiska mätningar ($r=0,97$). Ett sådant här samband mellan mätare och analytiska mätningar pekar på att mätarens mätvärde är tillförlitliga. Korrelationen mellan SPAD-mätaren var dock lägre ($r=0,76$) när all data plottades mot varandra. Korrelationen var högre ($r=0,92$) när endast en behandling med engångs giva under våren var med (Vos & Bom, 1993). En annan studie av (Uddling et al., 2007) visade att liknande samband mellan klorofyllinnehållet från respektive SPAD-mätaren och analytisk mätning ha ett r^2 -värde på 0,46.

En sammanställning av 15 försök, utförda mellan år 1995 och år 1999 runt om i Europa visade att klorofyllmätare kan användas för att mäta kvävestatusen i potatisen. Både SPAD-502 och Yara N-tester användes i försöken. Yara N-testern och SPAD-mätaren visade sig ha ett starkt samband med bladskafsanalysen som användes som en av referenserna i försöket. Det var endast små skillnader metoderna emellan (Gianquinto et al., 2004). I jämförelse mellan bladskafsanalysen och klorofyllmätaren är klorofyllmätaren ett instrument som är lätt att ha med i fält. Efter att mätningarna gjorts fås ett värde fram direkt (Muñoz-Huerta et al., 2013). Mätningar med Yara N-tester tar cirka fem till sju minuter att mäta 30 blad i ett försök jämfört mot bladskafsanalysen som tar 40 minuter (Gianquinto et al., 2004). En annan jämförelse som gjordes var mellan SPAD-mätaren och nitratkoncentrationen i procent av torrsubstansen och om korrelationen skiljdes åt gällande dagar efter uppkomst. Där det i början (13 och 20 dagar efter uppkomst) var en svag korrelation. Det var dock starkare korrelation under mitten av säsongen där mätningen 32 dagar efter uppkomst gav starkast samband. Sambandet fortsatte vara starkt fram till sista mätningen som skedde 73 dagar efter uppkomst. En liknande korrelation gjordes för Yara N-testern i jämförelse med nitratkoncentrationen i procent av torrsubstansen. Vid denna korrelation var det också svagare korrelation vid de första mätningarna (Gianquinto et al., 2004). Yara N-tester värdet visades ha starkast korrelation med kväveinnehållet i grödan runt 30-40 dagar efter uppkomst (Goffart et al., 2008). Enligt Ekelöf and Råberg (2011) är den mest passande tiden att mäta med en klorofyllmätare vid blomning, framförallt för att det ska finnas utrymme till att komplettera med gödsel.

Andra försök har dock visat svagheten hos SPAD-502 mätaren i att se skillnader mellan olika kvävegivor. Mätaren kunde endast se skillnader direkt mellan icke gödlat och gödlat. Olika mängd tillförd gödsling kunde först ses i slutet av säsongen (Gianquinto et al., 2004; Muñoz-Huerta et al., 2013). Till exempel skillnaden mellan 80 kg N/ha och 240 kg N/ha visades först i slutet av säsongen (Gianquinto et al., 2004). Det som avgjorde när skillnaden i olika kvävegivor kunde ses med en SPAD mätare var beroende på vilket utvecklingsstadium potatisen var i och även tidpunkt på säsongen (Wu et al., 2007). Brist sågs två veckor efter

uppkomst genom bladskaftsanalysen medan för SPAD tog det en månad att identifiera brist efter uppkomst (Muñoz-Huerta et al., 2013; Wu et al., 2007). Båda klorofyllmätarna, Yara N-tester och SPAD-mätaren, har låg känslighet i potatis, därför kan endast en skillnad mellan nollruta och gödslade rutor jämföras (Goffart et al., 2008). Att identifiera extrema kvävebrister verkar fungera med SPAD-502. Klorofyllmätare identifierar kvävebrist tidigare på lättare jordar än tyngre. Vid höga kvävegivor har klorofyllmätaren svårt att visa rätt värde då en undervärdering av kvävestatusen kan ske vid lyxförhållande (Gianquinto et al., 2004).

Bestämning av kvävegivan vid kompletteringsgödslingen med en klorofyllmätare

Klorofyllmätaren är ett bra verktyg att mäta kvävestatusen i potatis men utifrån värdet som fås fram kan det vara svårigheter att bestämma mängden kväve som ska tillföras (Busato et al., 2010; Gianquinto et al., 2004). Det är en svårighet även om det har tagits fram rekommenderad N-giva utifrån mätvärdet som fås fram (Yara, 2017). Det är därför att föredra att ha en nollruta som värdena kan jämföras med (Gianquinto et al., 2004) precis som Olivier et al. (2006) gjorde i sina försök. Även Ekelöf and Råberg (2011) menar på att en nollruta behövs för att kunna tolka resultatet. Då kan både skillnader mellan platser upptäckas men också kan tillförseln av markmineral kväve identifieras (Olivier et al., 2006). Det har också tagits fram tröskelvärde, ett lägre värde än tröskelvärdet indikerar på kvävebrist i potatisen. En jämförelse kan göras mellan det uppmätta värdet och tröskelvärdet för att se hur värdena förhåller sig till varandra för att se om det eventuellt finns en kvävebrist. Runt 40 – 50 dagar efter uppkomst har Yara N-tester ett kritiskt tröskelvärde på 540 -560. Tröskelvärdet skiljer sig åt när det gäller potatissort (Busato et al., 2010; Gianquinto et al., 2004), klimat och andra påverkande faktorer. Vid mätning i tidiga sorter fås ett högre värde ut jämfört med senare sorter (Goffart et al., 2008). För SPAD-mätaren varierade tröskelvärdet mellan 35,76 och 52,22 för olika sorter, ålder på grödan och bladpositionen. Tröskelvärdet från SPAD-mätaren sjunker till exempel med åldern på plantan (Busato et al., 2010).

Faktorer som påverkar en klorofyllmätare

Det är viktigt att komma ihåg att mätresultatet av SPAD/N-tester påverkas av vilket blad som mätningen sker på (Busato et al., 2010). Mätningarna med klorofyllmätare har rekommenderats att ske på det fjärde bladet (det översta fullt utvecklade bladet) (Gianquinto et al., 2004), mätning med SPAD-mätaren rekommenderas utföras i mitten av fjärde bladet där mittensträngen undvikas (Muñoz-Huerta et al., 2013).

Kvävefördelningen på höjden är svår att se om endast mätningar görs på de översta bladen, det blir helt enkelt svårt att bestämma kvävestatusen i hela plantan då fördelningen av kväve är ojämnt fördelat från botten till toppen. Utifrån

mätningarna som sker i toppen av plantan ger en indikation på kvävestatusen, men den ger mer ett mått på kvävestatusen i grödans topp än att den skildra kvävestatusen i hela plantan (Jongschaap & Booij, 2004).

Klorofyllmätaren kan även påverkas av yttre faktorer (Muñoz-Huerta et al., 2013; Olivier et al., 2006). En faktor som kan påverka resultatet hos en klorofyllmätare är vattenstatusen hos grödan, det vill säga om det är bevattnat eller inte (Gianquinto et al., 2004; Goffart & Olivier, 2004; Muñoz-Huerta et al., 2013). En stressad ogödslad gröda kan ge upphov till lika höga värde som en gödslad gröda, det kan till och med hända att nitratkoncentrationen är högre i en vattenstressad gröda än en vattnad gröda. En möjlig förklaring till det kan vara en osmotisk anpassning av bladen vid torra förhållanden (Gianquinto et al., 2004). Som nämnts är plats och sort faktorer som har en påverkan på mätaren (Goffart & Olivier, 2004). Platsen är en påverkande faktor då förutsättningarna gällande markförhållande som till exempel jordart, väderförhållande kan skilja sig åt mellan olika platser. Faktorer som markens kvävelevererande förmåga, odlingsåtgärder kan också skilja sig åt från plats till plats (Goffart et al., 2008). Brist på andra näringsämnen än kväve och även potatisens olika utvecklingsstadier har också de inverkan på mätningarna (Muñoz-Huerta et al., 2013). Dessutom skiljer sig effekten på mätningarna hos vissa av de påverkande faktorerna åt under dagen. Mellan klockan nio och femton kan mätningarna påverkas negativt på grund av bestrålning (Goffart et al., 2008).

N-tester i andra grödor

I försök med klorofyllmätning i sockerbetor (*Beta vulgaris*) och broccoli (*Brassica oleracea*) kunde inga skillnader ses mellan olika kvävegivor förens senare på säsongen. Detta är något som egentligen efterfrågas hos ett mätarverktyg och försöket här visar därmed på en något sämre användbarhet. För sockerbetor tog det 61 dagar efter sådd innan skillnader med klorofyllmätning sågs, medan det tog 108 dagar efter sådd för broccoli. Med hjälp av bladskafsanalysen tog det istället 47 dagar gällande att se skillnader i de olika kvävebehandlingarna i sockerbetorna och för broccolin kunde skillnader ses 87 dagar efter sådd med analysen. Mätningar med bladskafsanalys hos sockerbetor och broccoli framläggs alltså i detta försök som mer fördelaktigt tidigt på säsongen än klorofyllmätning (Muñoz-Huerta et al., 2013).

2.6.4. Vultus satellitbilder

Företaget Vultus (Lund, Sverige) använder sig av fjärranalys för att hjälpa lantbrukare med framför allt optimera tillförseln av kväve. Vultus (Lund, Sverige) använder satellitbilder från satelliten Sentinel-2 (ESA, Paris, Frankrike). Sentinel-2 satelliterna levererar multispectral data med en upplösning på 10, 20 eller 60 meter eller lägre upplösning. Sentinel-2 består av två identiska satelliter i samma

omloppsbanan, Sentinel-2A och Sentinel-2B (ESA, 2022). Vultus (Lund, Sverige) har endast använt sig av L2A data, som är korrigerade för atmosfäriska effekter (Abdullah, 2022; ESA, 2022). Satelliten befinner sig 786 km i höjd och med en omloppsbanan med en bred på 290 km. Denna satellit har 13 spektrala band, fyra band vid 10 meter, sex band vid 20 meter och tre band vid 60 meters rumslig upplösning. Med hjälp av den ena satelliten kan bilder fås fram var tionde dag och med båda satelliterna var femte dag vid ekvatorn under förhållanden som är molnfria. Men för latituder över bland annat Europa kan data fås fram varannan till var tredje dag. Sentinel-2 används för att övervaka förändringar på jordens yta. Den används till exempel i jordbruk, övervakning av ekosystem men också kartläggning av katastrofer och civil säkerhet med mera (ESA, 2022).

Multispektrala bilder fås fram genom att en sensor i rymden mäter reflekterat ljus. Det används både rött, NIR och IR (infrarött) ljus vid mätningen. Användningen av flera våglängdsband gör det möjligt att mäta olika faktorer hos både marken och grödan (Vultus, 2022). De bilderna som tas fram filtreras moln bort automatiskt med Vultus system (Abdullah, 2022). Vultus (Lund, Sverige) beräknar flera index; NDVI, NDRE, MSAVI, MSAVI-2, GNDVI och SR, vilka alla är index som på något sätt beskriver olika egenskaper hos grödan eller marken. För potatis tar Vultus (Lund, Sverige) fram två index, Normalized difference red-edge index (NDRE) och Green Normalized difference vegetation index (GNDVI), som beskrivits tidigare. Båda indexen har värde mellan minus ett och ett (Lindgren, 2022). Tidigt på säsongen används vegetationsindexet GNDVI när inte grödan är täckande, därefter används NDRE som vegetationsindex (Abdullah, 2022).

Tidigare försök med satellitbilder i potatis

I Danmark har det nyligen (år 2017–2019) gjorts försök med att bestämma kvävestatus i potatis med hjälp av satellit-, drönarbilder och en handhållen sensor (Rapidscan) för att jämföra metoderna (Peng et al., 2021). Satelliten som användes var Sentinel-2. Moln på himlen kan riskera suddiga bilder och därav användes också drönare. Multispectral data togs fram med de tre olika metoderna för att bestämma kvävekoncentration, kväveupptag och kväve-näringsindex. Bilderna från drönarbilderna hade högst noggrannhet. Dessa gav en bättre rumslig upplösning än för satellitbilderna, där det framför allt var kväveupptag och indexet som korrelerade starkare till reflektansdatan från drönarbilderna jämfört med satellitbilderna. Gällande kvävekoncentrationen var korrelationen svag med reflektansdatan från både drönaren och satelliten. Utifrån bilderna används sen två statistiska modeller för att fastställa den kvävemängd som potatisen är i behov av. År 2018 som var ett torrt år med minimal nederbörd och höga temperaturer visade bilderna kvävebrist. I själva verket fanns det tillräckligt med kväve i rotzonen för

potatisen, kvävet var dock otillgängligt på grund av vattenbrist vilket därmed visar att torka kan medföra felaktigt resultat vid en fjärranalys (Peng et al., 2021).

I en annan studie testades tre olika metoder för att mäta kvävestatusen i potatis. Satellitbilder från QuickBird, klorofyllmätaren SPAD-502 och bladskafsanalys var de som jämfördes åt (Wu et al., 2007). QuickBird är en av den vanligaste satellitsensorn som används för att bedöma grödors kvävebehov. Sensorn använder sig av rött ljus (630 nanometer), grönt ljus (520 nanometer) och NIR (nära infrarött ljus) (760–900 nanometer). Med dessa skilda ljusvåglängder kan brist från kväve respektive vatten åtskiljas (Muñoz-Huerta et al., 2013). I denna studie visade det sig att mätning av kvävestatusen med satellitbilder är mindre känsligt jämfört med bladskafsanalys och klorofyllmätare. Ett av åren upptäckte dessutom QuickBird ingen brist även om det fanns. De små försöksrutorna som användes gjorde dock det svårt för QuickBird-satelliten att mäta och registreras vegetationen korrekt, då endast några få pixlar kunde användas (Wu et al., 2007).

För att få bättre resultat med satellitbilder kan ett alternativ vara att använda bilder som är mer högupplösta (Wu et al., 2007). För storskaligt lantbruk kan användning av satellitteknologi därmed vara användbart medan det för mindre lantbruk är mindre passande (notera i Kina) (Zhang et al., 2020). Med hjälp av satellitbilder kan fältvariationer påvisas, satellitbilder från en rymdsensor kan på så vis ge en bra handledning till hur utgödsling av kväve ska ske över ett större fält (Muñoz-Huerta et al., 2013). För små fält och för försök passar sensorteknologi från marken bättre på grund av lägre kostnad och det ger större möjlighet till att mäta exakt där man vill (Zhang et al., 2020).

Hunt et al. (2018) ger förslag på att använda bladtäckningen, då tillväxten av vegetationen möjligtvis kan indikera kvävestatusen även tidigare på säsongen. Nackdelar med satellitbilder är bland annat molnförekomst som kan också resultera i suddiga eller oanvändbara bilder. Utöver dessa nackdelar finns där också fördröjning av att få tillgång till data från satelliterna, det krävs en viss behandlingstid innan möjlig användning. I framtiden antas det bli lättare att hitta kvävebrister då det sker en utveckling av hyperspektrala sensorer (Muñoz-Huerta et al., 2013).

Satellitbilder i andra grödor

Blackmer and Schepers (1996) har gjort en studie där satellitbilder används för att upptäcka kvävebrist. Kvävebristen har i studien åstadkommit av varierad kvävegiva men är också orsakad av den naturliga variationen i marken. Denna studie gjordes i majs och satellitbilderna jämfördes med mätningar från en klorofyllmätare och stjälkens nitratkoncentration. Vid skörd jämfördes stjälkens nitratkoncentration och satellitbildernas värde på ljusstyrka för att se hur starkt de

korrelerade med varandra. Med satellitbilder i majs kunde variation i både markens kväveinnehåll och kvävegiva ses (Blackmer & Schepers, 1996).

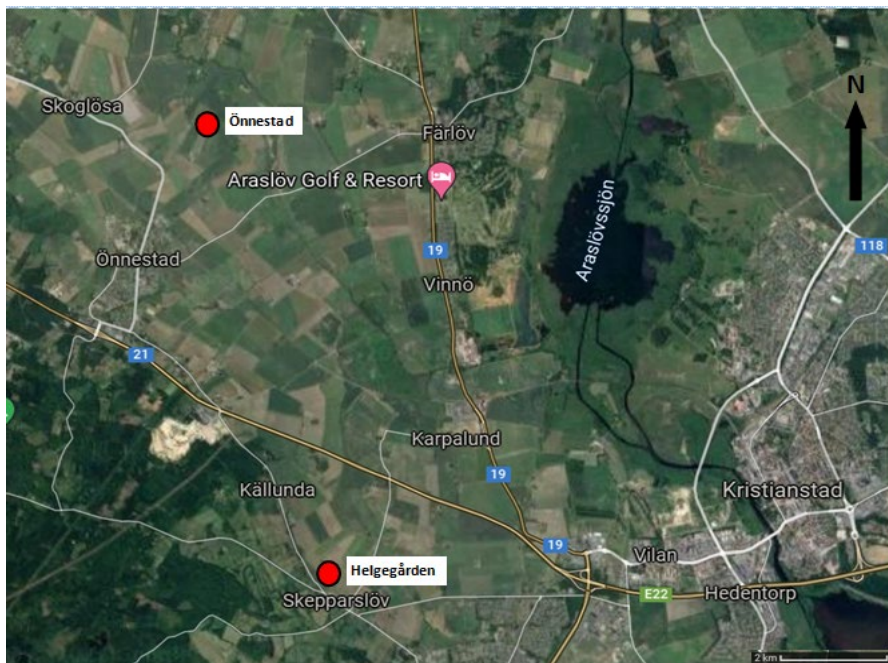
Det har även gjorts försök med satellitbilder i vete. Olika kvävegivor med olika spektrala index bland annat NNI (N nutrition index) och NDVI. NNI är ett index som uppskattar den vegetativa kvävestatusen i höstvet. När kvävegivan var högre minskade reflektansen i de synliga våglängderna röd, blå och grön på satellitbilderna. Det visade sig att de röda våglängdsbanden korrelerade starkare med kvävekoncentrationen än de blå och gröna. I vetets utvecklingsstadium GS 30 så var regressions koefficienten 0,82 när NNI plottades mot kvävekoncentrationen i vegetationen. När NNI sattes som en funktion av NDVI blev $R^2=0,898$. Slutsatsen i denna studie yrkar på en god mätning av kvävestatusen i vete med hjälp av satellitbilder (Zubillaga & Urricariet, 2005).

3. Material & Metod

3.1. Upplägg

Detta självständiga arbete baseras på två försök som pågick under sommaren 2021. Försöken var belägna i Kristianstadtrakten, ett i Önnestad och ett på Hellegården. Det var Lyckeby (Kristianstad, Sverige) som tillsammans med företagen Vultus (Lund, Sverige) och Yara (Oslo, Norge) beställde två försök hos Hushållningssällskapet (HS) Kristianstad. HS var de som därmed tog hand om de båda försöken, från att sätta potatisen till gödsling och sprutning. Utöver de ovannämnda försöken utfördes även fältobservationer hos fyra odlare som också de ligger till förfogande för detta självständiga arbete.

3.1.1. Försöken



Figur 10: En översiktskarta från Google Maps över placeringen av försöken i relation till Kristianstad i öster.

Gemensamt för försöksplatserna, Önnestad och Helgegården, är att båda försöken var upplagda som randomiserat plotförsök med tre block. Det var fyra olika N-kompletteringsgödslingsnivåer; 100, 150, 200, 250 kg N/ha som med hjälp av en rampspridare spreds ut. De olika kvävenivåerna slumpades ut i de olika blocken. I varje ruta gjordes sen mätningar med fyra olika metoder; bladskafsanalys, N-sensor, N-tester och fjärranalys med Vultus system. Varje ruta mättes upp med GPS-utrustning för att alla rutor skulle bli var 24x24m (576 m²) stora. I båda försöken användes potatissorten Kuras. Denna sort valdes eftersom den är en av de mest odlade sorterna av stärkelsepotatis. Eftersom referenskurvan för bladskafsanalysen dessutom är framtagen för Kuras, är detta ytterligare en anledning till sortvalet.

Tabell 1: Nederbörd under sommaren 2021 i området där försöken låg.

| Nederbörd | |
|-----------|----------|
| April | 34 mm |
| Maj | 53,2 mm |
| Juni | 23,2 mm |
| Juli | 57,6 mm |
| Augusti | 101,7 mm |

Nederbördsdata från SMHI har tagits fram från stationen Norra Ströö. Stationen är den närmaste aktiva stationen för de båda försöksplatserna (ca 13 kilometer norr om försöket på Helgegården och 5 kilometer norr om försöket i Önnestad). Under hela juni var nederbörden minimal och i princip hela månadens nederbörd kom den 31 juni (17,3 millimeter). Juli månads första dag började med mycket nederbörd (19,7 millimeter), därefter fördelade sig resterande mängd jämnt över månaden, där dagarna med nederbörd fick cirka fyra till sex millimeter i nederbörd. För augusti kommer nederbörden i tre olika perioder som varar i tre till fyra dagar vardera. Den första perioden utfaller vid det sista mättillfället (9 augusti) och de andra två i mitten och i slutet av augusti. Den totala mängden regn under juni, juli och augusti uppgick till 182,5 millimeter varav 104 millimeter av dessa inträffade under tiden för första mätningen till sista mätningen i potatisen.

Tabell 2: Utvecklingsstadium för potatisen för varje mättillfälle på de båda försöken

| Mättillfälle | Utvecklingsstadium | |
|-----------------------------|--------------------|----------|
| | Helgegården | Önnestad |
| 1 (8 dagar efter uppkomst) | 31 | 35 |
| 2 (14 dagar efter uppkomst) | 34 | 35 |
| 3 (20 dagar efter uppkomst) | - | - |
| 4 (29 dagar efter uppkomst) | 55 | 55 |
| 5 (34 dagar efter uppkomst) | 60 | 60 |
| 6 (41 dagar efter uppkomst) | 62 | 65 |
| 7 (48 dagar efter uppkomst) | 67 | 67 |
| 8 (53 dagar efter uppkomst) | 75 | 75 |
| 9 (59 dagar efter uppkomst) | 75 | 75 |

I tabell 2 kan de olika utvecklingsstadierna som potatisen befann sig i vid alla mättillfällena ses på båda försöksplatserna. Bedömning om vilket utvecklingsstadium potatis befann sig i gjordes utifrån Jordbruksverkets manual över potatisens utvecklingsstadier.

3.1.2. Önnestad



Figur 11: En drönbild över försöket i Önnestad 41 dagar efter uppkomst. Från vänster; Block I, Block II, Block III. Led 1- 100 kg, Led 2- 150 kg, Led 3- 200 kg, Led 4- 250 kg.

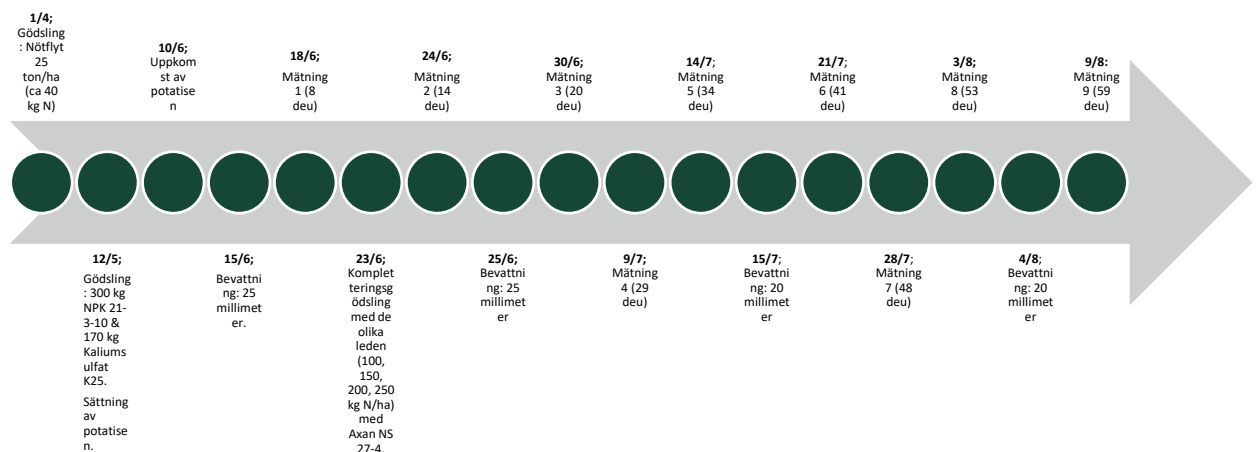
Ett av försöken var beläget i utkanten av Önnestad. Potatisen sattes där den 12 maj och 100 % uppkomst inträffade sedan den 10 juni. Potatisen sattes med 75 centimeter radavstånd och utsädesmängden låg på 1600 kilogram. Förfrukten var majs. Det vattnades fyra gånger med en vattenkanon under säsongen: 15 juni (25 millimeter), 25 juni (25 millimeter), 15 juli (20 millimeter) och 4 augusti (20

millimeter), så en total mängd på 90 millimeter vatten tillfördes utöver den naturliga nederbörden.

Under säsongen användes följande herbicider; Spotlight Plus, Titus WSB samt Sencor. Dessa applicerades vid olika tidpunkter under säsongen. Fungicider/insecticider som användes under sommaren var Infinito, Mavrik 2F, Teppeki, Proline EC 250, Leimay, Zorvec, Narita, Revus och Ranman Top, även dessa applicerades vid olika tidpunkter.

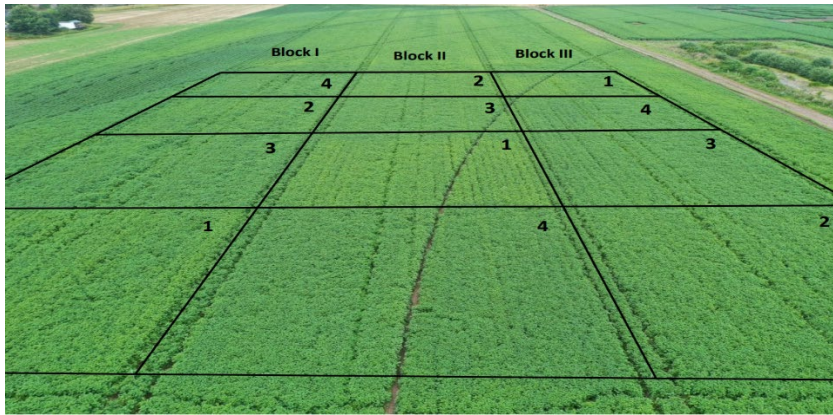
Det tillfördes gödsel både innan och vid sättnings. Den 1:e april lades nötflyt ut med en giva på 25 ton/ha med en mängd på cirka 40 kg N/ha. Vid sättnings (12 maj) applicerades 300 kg NPK 21-3-10 och 170 kg Kaliumsulfat K25. Kompletteringsgödslingen med de fyra olika givorna (100,150,200,250 kg N/ha) inträffade den 23 juni med Axan NS 27-4. Det tillfördes också Mn235 under hela säsongen. Den totala givan för respektive led är enligt följande led 1: 203 kg N/ha, led 2: 253 kg N/ha, led 3: 303 kg/ha, led 4: 353 kg N/ha.

Utifrån markkarteringen som gjordes år 2016 är det genomsnittliga pH-värdet för Önnestads försöksplats 6,7. Medelvärdet på P-AL ligger på 24,3 och motsvarar således klass V, platsen har alltså ett väldigt bra fosfortillstånd. K-AL värdet hamnar i klass II och är ett kaliumtillstånd under det normala. Markkarteringen visar en mullhalt på 3,72% och en lerhalt på 8,21% vilket kan beskrivas som en måttligt mullhaltig lerig jord.



Figur 12: En tidslinje för när gödsling, bevattning, sättnings, uppkomst och även mätning med de fyra olika metoderna; bladskafsanalys, N-sensor, N-tester och fjärranalys med Vultus system som gjordes på Önnestad. (deu=dagar efter uppkomst).

3.1.3. Hellegården



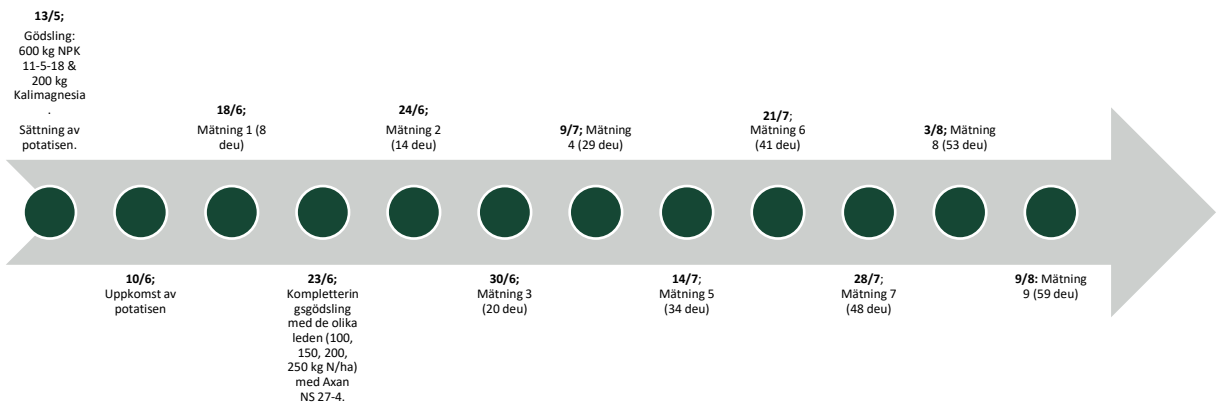
Figur 13: En drönbild över försöket på Hellegården. Bilden är tagen 48 dagar efter uppkomst. Från vänster; Block I, Block II, Block III. Led 1- 100 kg, Led 2- 150 kg, Led 3- 200 kg, Led 4- 250 kg.

Det andra försöket var beläget på Hellegården, Skepparslöv (samma plats där bladskafsanalysens referenskurva togs fram). Här sattes potatisen den 13 maj och hade liknande uppkomstdatum (10 juni) som potatisarna på Önnestad. Radavståndet var även här på 75 cm och utsädesmängden låg på 1720 kg. Även här användes potatissorten Kuras och majs stod som förfrukt. All bevattning skedde med en centerpivo och utfördes 17 gånger med en total mängd på 180 millimeter. Datumen för bevattning var den 18, 20, 24 juni, samt den 4, 5, 8, 13, 14, 16, 18, 21, 23, 26, 27 juli, 6 augusti och den 9 september.

De herbicider som användes på denna försöksplats var; Sencor, Spotlight Plus och Titus, där applicering inträffade vid olika datum i början av säsongen. Gällande fungicider/insekticider användes: Teppeki, Mospilan, Revus Top, Infinito, Proxanil, Ranman Top och Propulse.

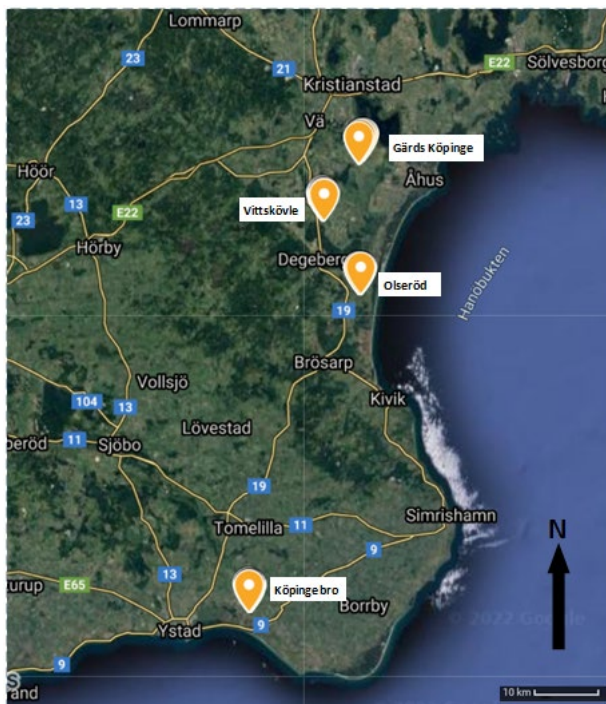
Utöver kompletteringsgödslingen med Axan NS 27-4 med de fyra olika givorna (100 kg, 150 kg, 200 kg, 250 kg N/ha) den 23 juni så tillfördes det även 600 kg NPK 11-5-18 den 13 maj och 200 kg Kalimagnesia vid sättnings av potatisen. Den totala givan för respektive led är enligt följande led 1: 166 kg N/ha, led 2: 216 kg N/ha, led 3: 266 kg/ha, led 4: 316 kg N/ha.

Utifrån markkarteringen så har fältet vid Hellegården ett genomsnittligt pH värde på 7,46. Medelsnittsvärdet på P-AL ligger på 9,91 vilket motsvarar klass IVA, platsen har därmed ett gott fosfortillstånd. Det genomsnittliga K-AL värdet ligger på 4,79 vilket motsvarar klass II, ett lågt och är under normalt kaliumtillstånd. Markkarteringen visar på en lerhalt på 7,6 % för Hellegården.



Figur 14: En tidslinje för när gödsling, sättning, uppkomst och även mätning med de fyra olika metoderna; bladskaftsanalys, N-sensor, N-tester och fjärranalys med Vultus system som gjordes på Helgegården. (deu-dagar efter uppkomst).

3.2. Fältobservationerna



Figur 15: En översiktskarta från Google Maps över placeringarna av fältobservationerna i förhållande till varandra.

Utöver försöken genomfördes det dessutom fältobservationer hos fyra olika odlare i deras egna fält. Hos dessa odlare användes på halva fältet styrfiler från Vultus (Lund, Sverige) när tilläggsgödslingen skulle ske medan odlarens egna teknik utfördes på den andra halvan. Tre av odlarna som deltog i fältobservationer är

stationerade i Kristianstadtrakten (Vittskövle, Gärds Köpinge, Olseröd) medan den fjärde är stationerad utanför Ystad (Köpingebro).

3.2.1. Vittskövle



Figur 16: En bild från Google Maps över fältet i Vittskövle. Första mätningen gjordes på de blå punkterna och andra mätningen gjordes på de orangea punkterna.

Fältet i Vittskövle var cirka sju hektar stort och potatisen sattes där den 26 april med ett uppkomstdatum under månadsskiftet maj/juni. Sorten på stärkelsepotatisen var Kuras och förfrukten på fältet var havre. Bevattningen gjordes med kanon och gödelspridaren som användes var en Kverneland Trimble. Den 23 april tillfördes 90 kg MAP NP 12-23 och 264 kg Axan och den 24 april tillfördes 45 ton Nöt + Organic. Tilläggsgödslingen skedde den 18 juni med 250 kg Axan. Totalt lades det 323 kg N/ha. Fältet utgörs av jordarten sand, jordarten varierar i fältet där norra delarna är väldigt lätt och i söder är förhållandena bättre.

3.2.2. Gärds Köpinge



Figur 17: En bild från Google Maps över fältet i Gärds Köpinge. Första mätningen gjordes på de blå punkterna och andra mätningen gjordes på de orangea punkterna.

Fältet för denna fältobservation är beläget i utkanten av Gärds Köpinge som ligger en bit söder om Kristianstad. Potatisen sattes där den 18 april med sorten Kuras och förfrukten på fältet var råg med oljerättika som mellangröda. Uppkomstdatumet för potatisen var den 20 maj. Gödslingen skedde precis innan sättning, den 15 april där det då tillfördes 6,5 ton kycklinggödsel och även den 16 april där 250 kg N27-4 och 250 kg Kaliumsulfat K-42 tillfördes. Gödselspridaren som användes var en Amazona (amatron 4 skärm) och bevattningen skedde med en kanon. Kompletteringsgödslingen skedde den 28 juni med 150 kg N27. Totalt lades det 157 kg N/ha på fältet. Hela fältet består av sandjord även om det finns variationer i fältet.

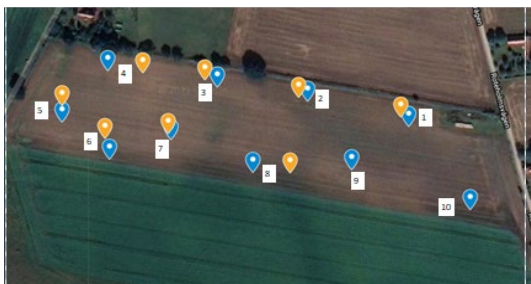
3.2.3. Köpingebro



Figur 18: En bild från Google Maps över fältet i Köpingebro. Första mätningen gjordes på de blå punkterna och andra mätningen gjordes på de orangea punkterna.

Fältet i denna fältobservation ligger precis öster om samhället Köpingebro, en mil öster om Ystad. Ett fält där korn stod som förfrukt. Sättning av potatisen (sort Kuras) skedde den 30 april, det radmyllades då ner 650 kg NPK 11-5-18. Några dagar efter sättningen tillfördes också 250 kg kalimagnesium. Till kompletteringsgödslingen lades sedan 300 kg 11-5-18 och 200 kg N27. Totalt lades det 158 kg N/ha. Gödselspridare av märket Amazon var det som användes vid spridning av gödseln.

3.2.4. Olseröd



Figur 19: En bild från Google Maps över fältet i Olseröd. Första mätningen gjordes på de blå punkterna och andra mätningen gjordes på de orangea punkterna.

Den fjärde fältobservationen i Olseröd var ett fält på sex hektar med korn som förfrukt. Sorten Kuras sattes den 3 maj. Gödsling som spreds i början var två ton Lyckeby Organic, 30 ton Biogödsel, 350 kg 11-5-18 och 300 kg Polysulfat. Vid kompletteringsgödslingen lades 200 kg N/ha. Totalt lades det 368 kg N/ha.

3.3. Mätning och analys

Mätningar med fyra olika metoder; bladskafsanalys, N-sensor, N-tester och satellitbaserad fjärranalys utfördes på de två försöksplatserna Hellegården och Önnestad. Mätningarna skedde en gång i veckan och gjordes nio veckor i sträck. Mätperioden tog sin början i mitten av juni (18 juni) och utfördes fram till sista mätningen i början av augusti (9 augusti). Mätningarna gjordes följande datum: 18 juni, 24 juni, 30 juni, 9 juli, 14 juli, 21 juli, 28 juli, 3 augusti, 9 augusti. De flesta mätningarna utfördes i huvudsak under tidig morgon/tidig förmiddag. Samtliga metoder förutom Vultus utfördes av undertecknad.

I fältobservationerna utfördes mätningar med Yara N-sensor, Yara N-tester och bladskafsanalys på samma sätt som i försöken. Dessa mätningar utfördes några dagar innan odlaren skulle utföra sin kompletteringsgödsling (ungefär 16 juni). Det gjordes mätningar på tio olika punkter som var belägna spritt över hela fältet. Vultus (Lund, Sverige) hade sedan delat in odlarnas fält i två olika delar, en där Vultus system testades och en del där odlarens vanliga strategi tillämpades. Efter att det gått cirka två veckor efter kompletteringsgödslingen (ungefär den 14 juli) gjordes ytterligare mätningar precis på samma sätt som när det skedde innan tilläggsgödslingen och även på samma punkter.

3.3.1. Bladskafsanalysen

Bladskafsanalysen gjordes genom att plocka fjärde bladet uppifrån på potatisplantan där samtliga småblad drogs bort. Stjälkarna som blev kvar lades i en påse för att förvaras innan analys kunde ske. Det plockades i genomsnitt 20 blad från varje ruta. Analysen gjordes sedan med en Horiba NO₃-meter. Bladskafsten som samlats in pressades i en hemmabyggt press för att få ut bladskafssaften. Saften som pressades ut lades sedan i Horiba NO₃-meter för en analys. Efter ett tiotal sekunder fick nitratkoncentrationen fram i ppm.



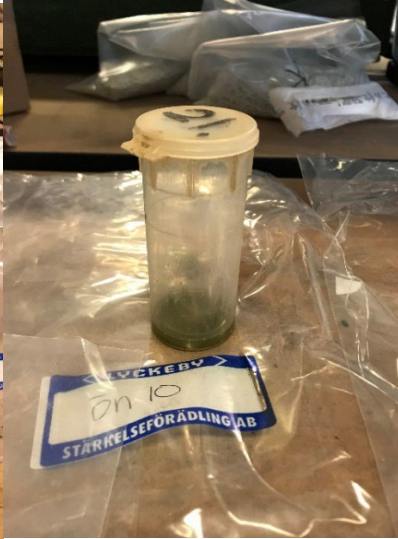
Figur 20: Bladskافت i behållare



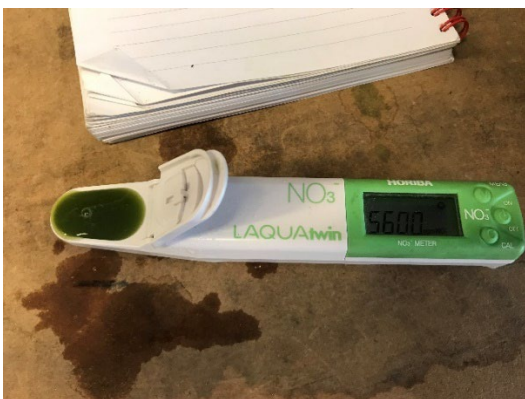
Figur 21: Pressen



Figur 22: Bladskافتen redo för pressning



Figur 23: Bladskافتssaft i burk



Figur 24: Horiba N-tester

3.3.2. N-sensor



Figur 25: En bild på den handburna N-sensorn.

Mätningar gjordes med en handburen N-sensor (Yara International ASA, Oslo, Norge), där varje ruta skannades av. Avskanningen med N-sensorn gjordes i mitten av alla rutor (ca 12 meter på varje sida av mätningen) och skanningen genomfördes i ungefär 10-15 meter i mittenstråket för varje ruta. Innan varje avskanning skulle utvecklingsstadiet på potatisen väljas i handsensorn. Efter varje mätning skickades värdena in för konvertering till Yara (Oslo, Norge) för att konvertera värdena till upptagen mängd N (kg N/ha)/SN(sensor kväve)-värde. Från varje ruta som skannades kom det ut ett stort antal mätvärden och utifrån dom togs det ut ett medelvärde som representerar hela rutan.

3.3.3. N-tester



Figur 26: Yara N-tester.

Mätningar gjordes med N-tester (Yara International ASA, Oslo, Norge) genom att mäta det yttersta småbladet på det fjärde bladet uppifrån, det vill säga det sista fullt

utvecklade bladet. Efter cirka 30 mätningar i varje ruta visade N-testern ett genomsnittligt värde för varje ruta vilket noterades ned.

3.3.4. Satellitbilder från Vultus

Satellitdata från Vultus togs fram av Vultus (Lund, Sverige) själva. I tidiga stadiet används vegetationsindexet GNDVI medan när grödan är täckande används NDRE. I de båda försöken har en kombination av vegetationsindexen använts. För varje försöksruta togs indexet fram från centrumet.

3.4. Analys av mätdata

Analyseringen av data gjordes i Excel (Microsoft, Redmond, Washington, U.S) och JMP PRO 16. Bland annat gjordes korrelationstest och linjär regression för att se om det fanns något samband mellan metoderna. Korrelationstesten användes för att för att se om det fanns en korrelation eller inte. En stark korrelation visas om sambandet stämmer väl överens med en rät linje, vilket kunde ses genom att korrelationskoefficienten (r), var så nära ett som möjligt. En svag eller ingen korrelation visas genom att r var närmre noll. Vid negativa värden var korrelationen negativ. I de linjära regressionerna användes i stället R^2 , determinationskoefficienten, för att se om det fanns ett samband eller inte. Denna koefficient anger hur stor del av variationen av y -värdet (beroende) som kan förklaras med variationen i x -värdet (oberoende) såvida det är ett linjärt samband mellan x och y . Det vill säga så finns det ett starkt samband om R^2 är så nära ett som möjligt och sambandet är svagt om koefficienten är nära noll. Det gjordes även signifikantanalysen för att testa om sambanden var signifikant eller ej. Det gjordes med hjälp av ett p -värde som hade en gräns på 0,005 som skulle visa om sambandet var signifikant eller slumpmässigt. Sambandet var signifikant om p -värdet var under 0,005 och om p -värdet var över 0,005 var sambandet slumpmässigt det vill säga inte signifikant. En litteraturstudie har också gjorts för att jämföra vad tidigare försök med metoderna har kommit fram till. Litteratur har sökts fram via Web of Science, Google Scholar men också tagits från böcker. Referensprogrammet som användes var EndNote.

4. Resultat

4.1. Översikt

4.1.1. Försöken

Figur 27- 34 är en översikt över datan som fåtts fram från de nio olika mätningarna med de olika metoderna på de båda försöksplatserna. Översiktsdiagrammen är uppbyggda på samma sätt för samtliga metoder men skiljer sig åt i y-axeln där varje metod har sitt eget mätvärde; bladskaftsanalysen – nitratkoncentration (ppm), N-sensor – SN-värde, N-tester – N-testervärde och fjärranalys med Vultus har ett värde som är vegetationsindexet NDVI. Figur 27 (Önnestad) och figur 31 (Helgegården) är en översikt över bladskaftsanalysmätningarna, där sågs det att i början av säsongen hade potatisen liknande nitratkoncentration oavsett led. Kompletteringsgödslingen med de skilda kvävegivor (Led 1-100 kg, Led 2- 150 kg, Led 3 – 200 kg, Led 4- 250 kg) gjordes 13 dagar efter uppkomst (mellan mätning 1 och 2). På båda försöksplatserna började leden skilja sig åt vid mätningen 29 dagar efter uppkomst, (16 dagar efter kompletteringsgödslingen) vilket också visade vara en signifikant skillnad mellan leden (tabell 3). Signifikansen höll i sig resterande mätningar också (34, 41, 48, 53, 59 dagar efter uppkomst). Mätningen 29 dagar efter uppkomst på båda försöksplatserna visade en signifikant skillnad mellan led 1 och resterande led men efter hand började även resterande led skilja sig åt. Vid mätningen 41 dagar efter uppkomst sågs en signifikant skillnad mellan led 1 och led 2 men ingen signifikant skillnad mellan led 3 och 4. En signifikant skillnad mellan samtliga led sågs först 53 dagar efter uppkomst för bladskaftsanalysen, vilket också kan ses i figur 27 & 31.

Översiktsdiagrammen över N-sensorn (figur 28 & 32) visade att SN-värdena ökade för samtliga led till en början efter kompletteringsgödslingen innan de olika leden började skilja sig åt. I Önnestad blev det först en signifikant skillnad mellan leden 34 dagar efter uppkomst (21 dagar efter kompletteringsgödslingen) medan på Helgegården dröjde det ytterligare en mätning (41 dagar efter uppkomst, 28 dagar efter kompletteringsgödslingen) innan en signifikant skillnad sågs mellan leden.

Det vill säga sågs skillnaden mellan leden cirka 5-12 dagar senare jämfört med bladskafsanalysen. Vid mätningen där en signifikant skillnad kunde ses var led 1 signifikant skild från resterande led. Det var vid mätning 48 dagar efter uppkomst som skillnaden mellan led 1 och led 2 kunde skiljas åt mot led 3 och led 4. Vid sista mätningen (59 dagar efter uppkomst) var det en signifikant skillnad mellan samtliga led.

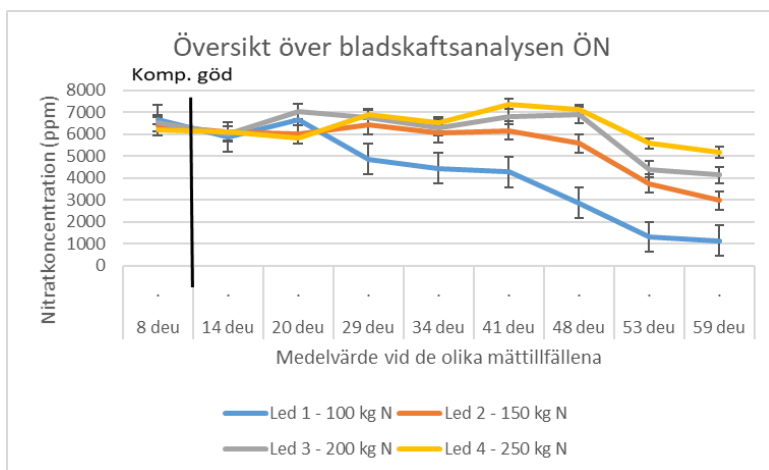
N-testern (figur 29 & 33) visade ett liknande samband som N-sensorn där på Önnestad visade en signifikant skillnad mellan leden 34 dagar efter uppkomst (21 dagar efter kompletteringsgödslingen) och på Hellegården 41 dagar efter uppkomst (28 dagar efter kompletteringsgödslingen). N-testern såg skillnaden mellan leden cirka 5-12 dagar efter bladskafsanalysen. Även här var skillnaden signifikant i början mellan led 1 och resterande led. Vid mätningen som skedde 48 dagar efter uppkomst visade sig den signifikanta skillnaden mellan led 1 och led 2. Sista mätningen (59 dagar efter uppkomst) gav en signifikant skillnad mellan samtliga led.

Att använda Sentinel-2-bilder från Vultus system visade ingen signifikant skillnad vid samtliga mätningar på båda försöksplatserna. Det som sågs på översiktsdiagrammen (figur 30 & 34), är att efter kompletteringsgödslingen ökade värdena innan de planade ut och blev i princip en samlad rät linje, det vill säga blev vegetationsindexet NDVI mättat vid de sista mättillfällena.

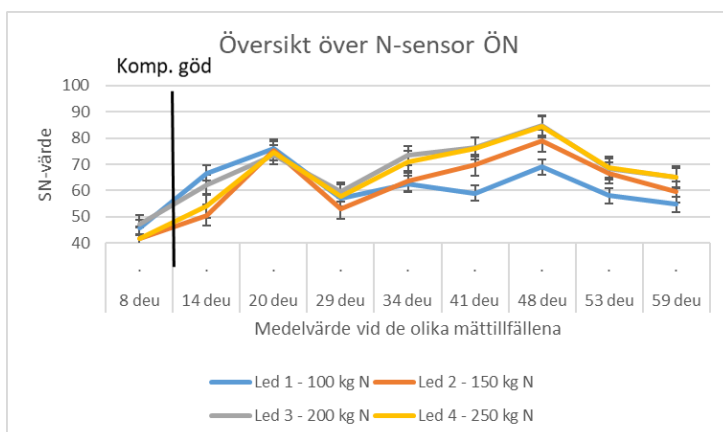
Tabell 3: En tabell över när det fanns signifikant skillnad mellan leden. p-värden för varje metod på de olika försöksplatserna vid alla mättillfällen. (DEU- dagar efter uppkomst, ÖN-Önnestad, HG- Hellegården).

| | Bladskafsanalysen | | N-sensor | | N-tester | | Vultus | |
|---------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|--------|------|
| | ÖN | HG | ÖN | HG | ÖN | HG | ÖN | HG |
| 8 deu | 0,75 | 0,20 | 0,04 | 0,98 | 0,063 | 0,94 | 0,8 | 0,89 |
| 14 deu | 0,95 | 0,84 | 0,13 | 0,81 | 0,98 | 0,99 | - | 0,92 |
| 20 deu | 0,15 | 0,98 | 0,92 | 0,99 | 0,34 | 0,41 | 0,64 | 0,9 |
| 29 deu | 0,0030* | 0,0024* | 0,27 | 0,84 | 0,34 | 0,065 | 0,77 | 0,97 |
| 34 deu | 0,0056* | 0,0185* | 0,0186* | 0,0835 | 0,0423* | 0,54 | 0,69 | 0,79 |
| 41 deu | 0,0139* | <,0001* | 0,025* | 0,0045* | 0,0185* | 0,004* | 0,92 | 0,93 |

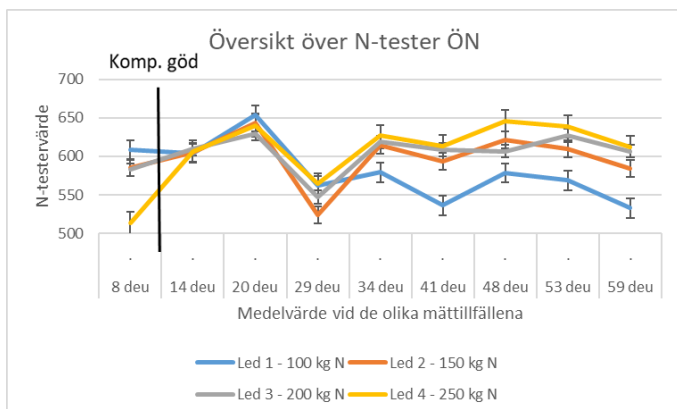
| | | | | | | | | |
|---------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|------|-------|
| 48 deu | 0,008* | <,0001* | 0,0033* | 0,0054* | 0,047* | 0,005* | 1 | 0,297 |
| 53 deu | 0,002* | <,0001* | 0,0075* | 0,0188* | 0,039* | <,0001* | 0,14 | 0,86 |
| 59 deu | 0,0015* | <,0001* | 0,0006* | 0,0139* | 0,0039* | 0,0001* | 0,41 | 0,35 |



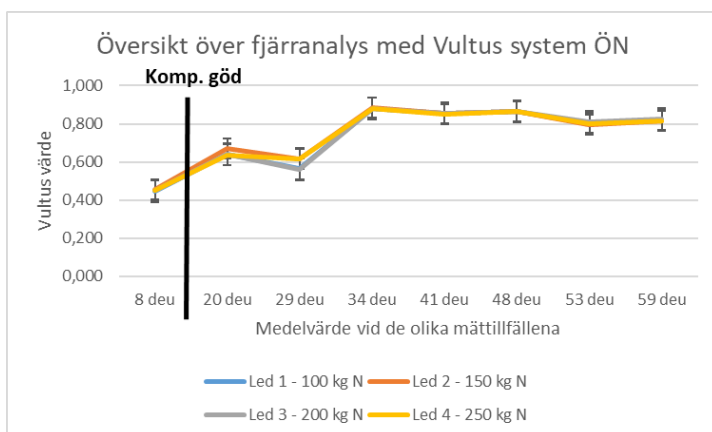
Figur 27: En översikt över nitratkoncentrationen som togs fram med bladskafsanalysen i Önnestad (ÖN). Ett medelvärde har tagits fram vid varje mättillfälle, dagar efter uppkomst (deu), för varje led, där för varje mätning kan se standardavvikelsen i felstaplar. Kompletteringsgödslingen skedde 13 dagar efter uppkomst vilket är markerad med den lodräta svarta linjen.



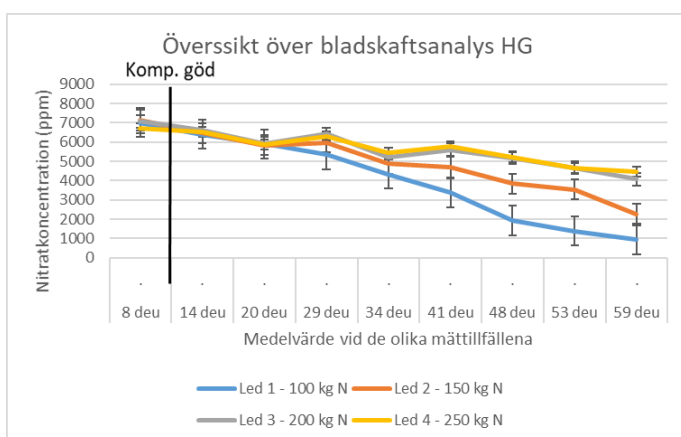
Figur 28: En översikt över N-sensormätningarna i Önnestad (ÖN). Ett medelvärde har tagits fram vid varje mättillfälle, dagar efter uppkomst (deu), för varje led, där för varje mätning kan se standardavvikelsen i felstaplar. Kompletteringsgödslingen skedde 13 dagar efter uppkomst.



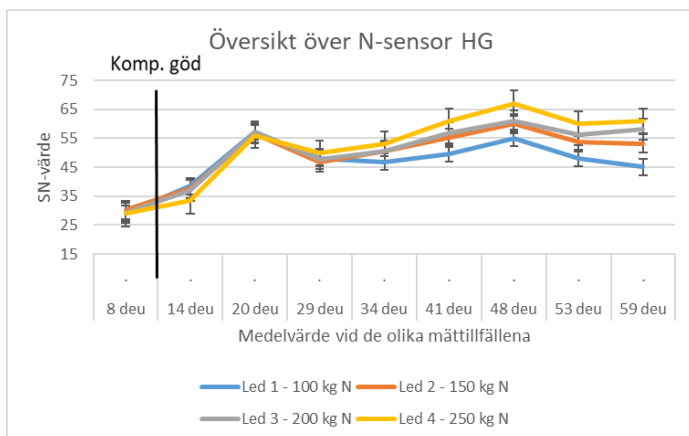
Figur 29: En översikt över N-testermätningarna i Önnestad (ÖN). Ett medelvärde har tagits fram vid varje mättillfälle, dagar efter uppkomst (deu), för varje led, där för varje mätning kan se standardavvikelsen i felstaplar. Kompletteringsgödslingen skedde 13 dagar efter uppkomst.



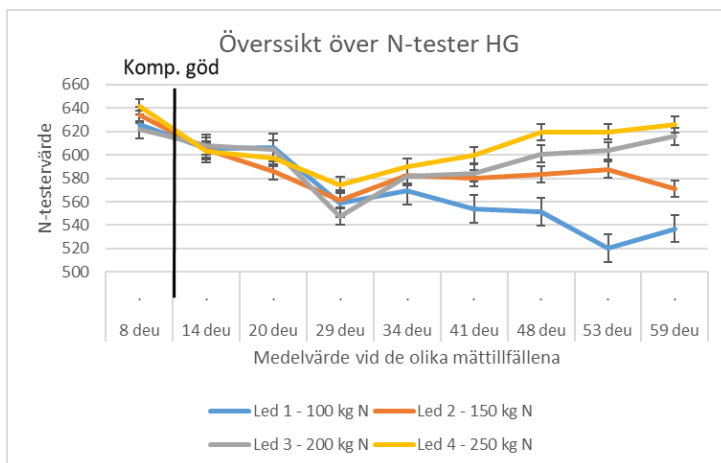
Figur 30: En översikt över mätningarna med satellitbilderna från Vultus i Önnestad (ÖN). Ett medelvärde har tagits fram vid varje mättillfälle, dagar efter uppkomst (deu), för varje led, där för varje mätning kan se standardavvikelsen i felstaplar. Kompletteringsgödslingen skedde 13 dagar efter uppkomst.



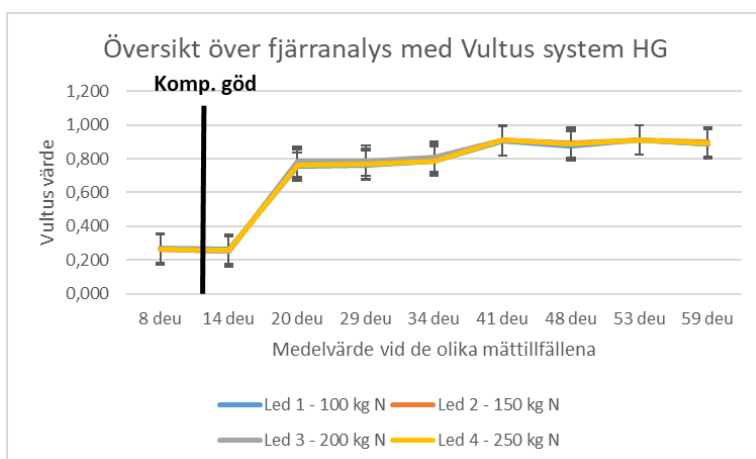
Figur 31: En översikt över nitratkoncentrationen som togs fram med hjälp av bladskaftsanalys på Helgegården (HG). Ett medelvärde har tagits fram vid varje mättillfälle, dagar efter uppkomst (deu), för varje led, där för varje mätning kan se standardavvikelsen i felstaplar. Kompletteringsgödslingen skedde 13 dagar efter uppkomst.



Figur 32: En översikt över N-sensormätningarna på Helgegården (HG). Ett medelvärde har tagits fram vid varje mätillfälle, dagar efter uppkomst (deu), för varje led, där för varje mätning kan se standardavvikelsen i felstaplar. Kompletteringsgödslingen skedde 13 dagar efter uppkomst.

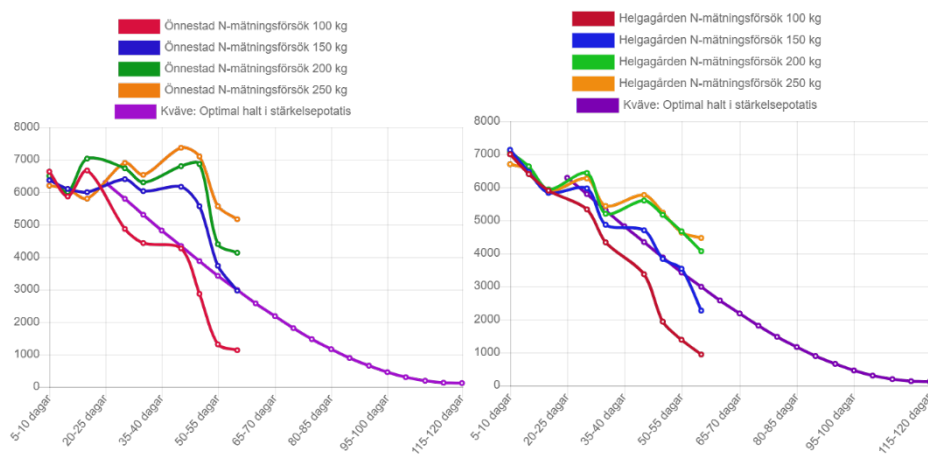


Figur 33: En översikt över N-testermätningarna på Helgegården (HG). Ett medelvärde har tagits fram vid varje mätillfälle, dagar efter uppkomst (deu), för varje led, där för varje mätning kan se standardavvikelsen i felstaplar. Kompletteringsgödslingen skedde 13 dagar efter uppkomst.



Figur 34: En översikt över mätningarna med satellitbilderna från Vultus på Helgegården (HG). Ett medelvärde har tagits fram vid varje mätillfälle, dagar efter uppkomst (deu), för varje led, där för varje mätning kan se standardavvikelsen i felstaplar. Kompletteringsgödslingen skedde 13 dagar efter uppkomst.

Figur 35, två diagram som visar nitratkoncentrationen för respektive led i förhållande till referenskurvan för bladskafsanalysen. Det vänstra diagrammet är över Önnestad och det högra diagrammet är över Helgegården, där även referenskurvan också är framtagen från denna försöksplats, där 150 kg N/ha var det optimala. Led 3 med 150 kg N/ha (mörkblå) följer den kurvan väldigt väl även i detta försök. För led 1 (100 kg), sågs det att den låg under referenskurvan vilket betyder att denna kvävenivå är under optimum. För de resterande leden (led 3- 200 kg och led 4 – 250 kg) låg dessa kurvorna över referenskurvan vilket visar på tillräckligt eller för mycket tillförts kväve.



Figur 35: Nitratkoncentrationen för de olika leden i försöken dagar efter uppkomst i förhållande till referenskurvan för bladskafsanalysen. Till vänster försöket i Önnestad och till höger försöket på Helgegården.

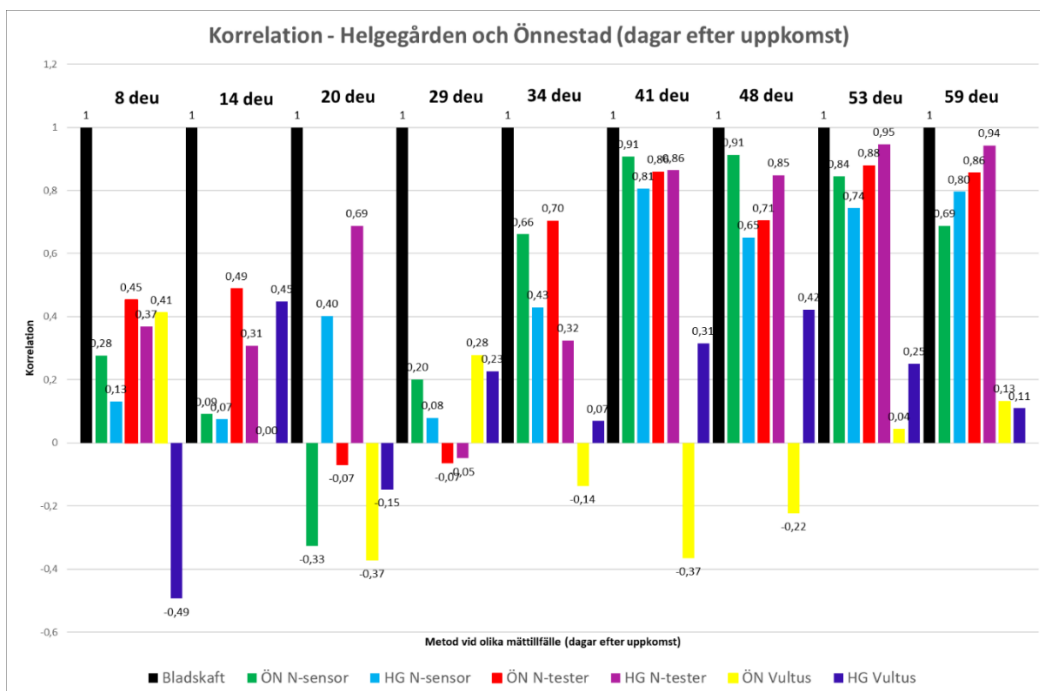
4.1.2. Fältobservationerna

För de fyra fältobservationerna gjordes en liknande översikt över de två mätningarna som skedde på tio platser i deras fält. Bladskafsanalysen visade att mätningen före tilläggsgödslingen har en högre nitratkoncentration än efter tilläggsgödslingen. N-sensor värdet var relativt lika både före och efter kompletteringsgödslingen, förutom för fältet i Olseröd som visade ett högre N-sensorvärde efter kompletteringsgödslingen än innan. Det var skillnader mellan de fyra fältobservationerna gällande om N-testervärdet om det var högre eller lägre efter kompletteringsgödslingen. Satellitbilderna från Vultus visade ett högre värde för samtliga fält efter kompletteringsgödslingen jämfört med innan.

4.2. Jämförelse mellan metoder

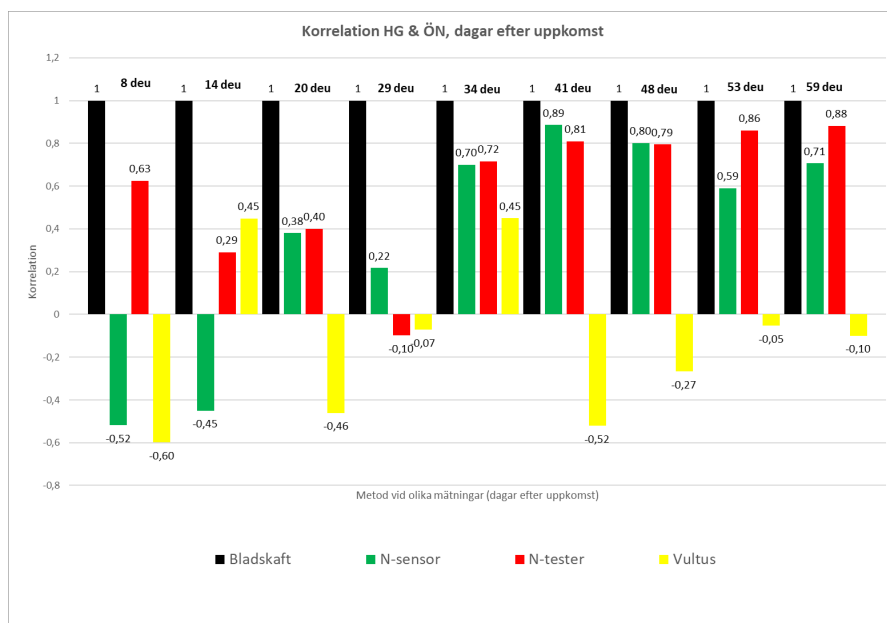
4.2.1. Försöken

Korrelationstest gjordes, där bladskafsanalysen jämfördes mot de tre resterande metoderna; N-sensor, N-tester, Vultus (Figur 36). I början av säsongen sågs ingen korrelation för någon av metoderna gentemot bladskafsanalysen varken i Önnestad eller på Helgegården. I Önnestad kunde en korrelation ses först 34 dagar efter uppkomst N-sensor med korrelationskoefficienten (r) på 0,66 och N-tester $r=0,70$ i jämförelse till bladskafsanalysen. Det fanns även en stark korrelation mellan bladskafsanalysen med vardera metod; N-sensor och N-tester vid mätningarna; 41, 48, 53 och 59 dagar efter uppkomst. På Helgegården sågs först en korrelation mellan bladskafsanalysen och N-sensorn $r=0,81$ och N-testern $r=0,86$ 41 dagar efter uppkomst. En stark korrelation fanns även på Helgegården för mättillfällena; 48, 53 och 59 dagar efter uppkomst. Däremot sågs ingen korrelation för metoden med satellitbilder från Vultus i jämförelse med bladskafsanalysen på något av försöken vid något av mättillfällena.



Figur 36: Ett diagram över hur N-sensorn, N-testern och Vultus satellitbilder korrelerar till bladskafsanalysen för de nio olika mättillfällena i Önnestad (ÖN) och på Helgegården (HG).

I figur 37 har data från båda försöken lagts ihop och här sågs en korrelation mellan bladskafsanalysen och N-sensorn ($r=0,70$) och N-testern ($r=0,72$) från och med 34 dagar efter uppkomst fram till sista mätningen som skedde 59 dagar efter uppkomst. Inte heller den sammanslagna datan från båda försöksplatserna visade någon korrelation mellan bladskafsanalysen och Vultus satellitbilder.

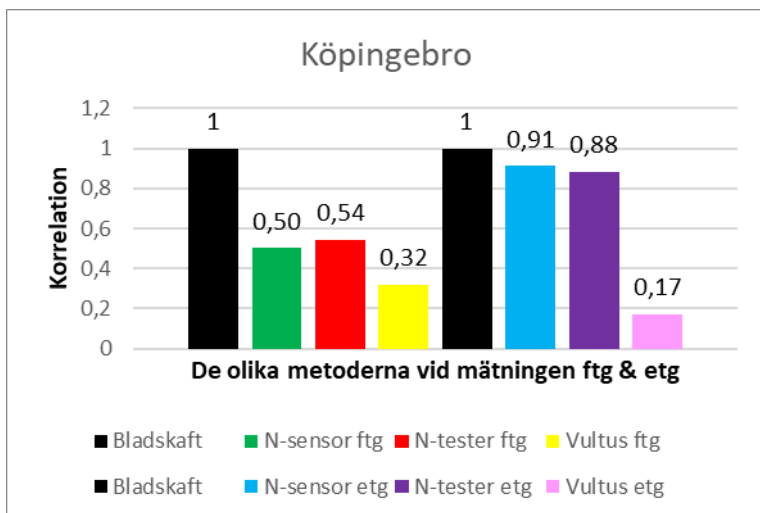


Figur 37: Ett korrelationsdiagram där N-sensorn, N-testern och Vultus korreleras mot bladskافتanalysen. Här är en sammanslagning av data från både Önnestad (ÖN) och Helgegården (HG).

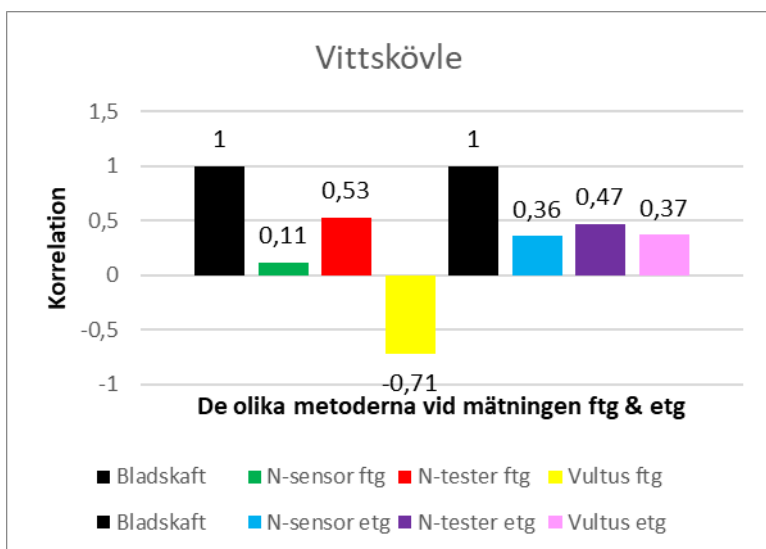
Korrelationstest gjordes även ledvis för att utvärdera om en viss kvävegiva gav en starkare korrelation jämfört med en annan. Det sågs ingen skillnad mellan korrelationerna beroende på vilken gödselgiva det var.

4.2.2. Fältobservationerna

I fältobservationerna var det skilda resultat gällande hur stark korrelationen var hos dem mellan bladskافتanalysen och de andra metoderna. Figur 38 är ett exempel på där det visades vara en stark korrelation mellan vardera N-sensorn och N-testern i förhållande till bladskافتanalysen. Korrelationen var starkast efter tilläggs gödslingen, N-sensor $r=0,91$ och N-tester $r=0,88$ i jämförelse till bladskافتanalysen. Hos resterande tre odlare sågs en svagare korrelation mellan metoderna, där figur 39, är ett exempel på det.



Figur 38: Ett korrelationsdiagram över fältobservationen i Köpingebro för mätningen både före tilläggsgödsling (ftg) och mätningen efter tilläggsgödsling (etg), (ca 14 dagar efter tilläggsgödslingen).



Figur 39: Ett korrelationsdiagram över odalexperimentet i Vittskövle för mätning både före tilläggsgödsling (ftg) och mätning efter tilläggsgödsling (etg), (ca 14 dagar efter tilläggsgödslingen).

4.2.3. Potatisutvecklingens inverkan på mätningarna

Som nämnts ovan var korrelationen svag vid de första mättillfällena mellan bladskافتanalysen och de övriga metoderna; N-sensorn, N-testern och satellitbilderna från Vultus vid första mättillfället. I figur 40 & 41 visas bilder från första mättillfället som genomfördes 8 dagar efter uppkomst. Plantorna var väldigt små och mycket mark syntes vilket kan ha påverkat mätningarna. Det sågs också en skillnad mellan Helgegården och Önnestad åt där plantorna är större på Önnestad trots samma sättdatum och uppkomstdatum.



Figur 40: Helgegården 8 dagar efter uppkomst



Figur 41: Önnestad 8 dagar efter uppkomst

Figur 42 och 43 är bilder över hur plantorna/försöket såg ut vid den tidpunkt när en korrelation kunde ses mellan bladskaftsanalysen, N-sensorn respektive N-testern. Potatisen befann sig utvecklingsstadiumet 60, vilket är vid begynnande blomning. Korrelationen var starkare vid detta tillfälle i Önnestad men med ögat/bilderna kan ingen skillnad ses mellan platserna.



Figur 42: Helgegården 34 dagar efter uppkomst, närbild

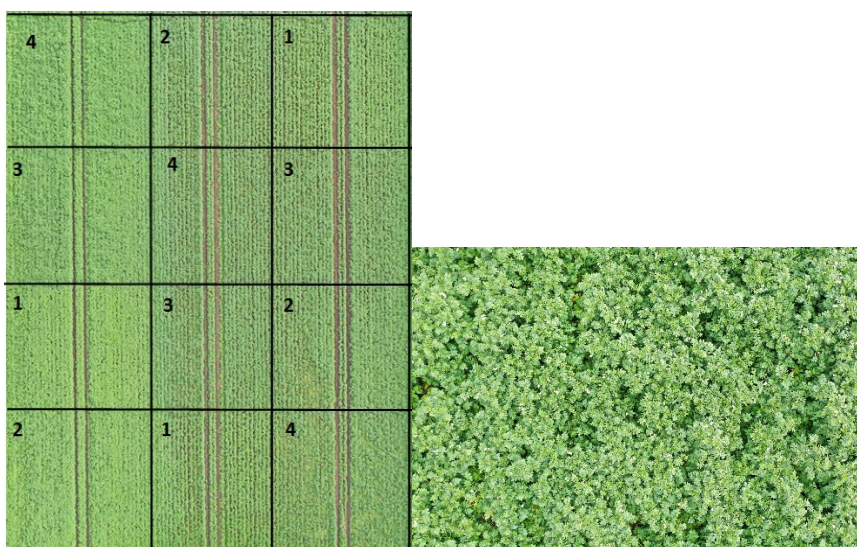


Figur 43: Önnestad 34 dagar efter uppkomst,

I figur 44 och 45 är bilder vid mätillfället som skedde 41 dagar efter uppkomst. Det var vid denna mätning som skillnaderna mellan led 1 och led 4 sågs med ögat. Vilket är 12 dagar efter man kunde se skillnaderna med bladskaftsanalysen och 0-6 dagar efter med N-testern och N-sensorn.

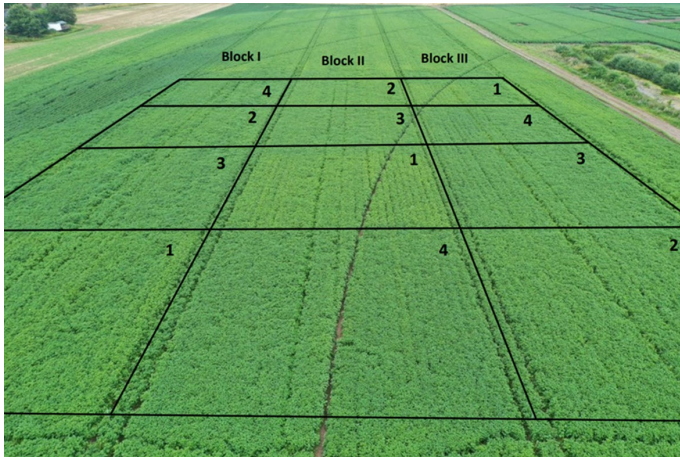


Figur 44: Hellegården 41 dagar efter uppkomst (kan se skillnaden med ögat)



Figur 45: Önnestad 41 dagar efter uppkomst

I figur 46 och 47 är bilder från den tredje sista mätningen (48 dagar efter uppkomst), potatisen såg i princip likadana ut som vid förra mättillfället och även här syntes skillnad i färgen på grödorna mellan de olika leden, främst är det led 1 med ljusare nyans.



Figur 46: Helgegården 48 dagar efter uppkomst



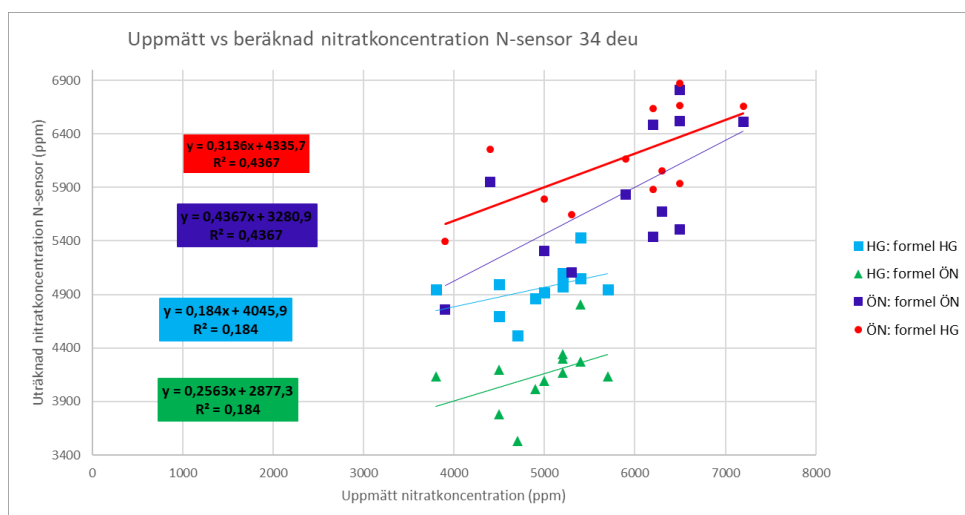
Figur 47: Önnestad 48 dagar efter uppkomst, Block II. Block I till vänster och Block III till höger.

4.3. Omvandla värdena från N-sensor, N-tester och Vultus till bladskaftanalysens värde

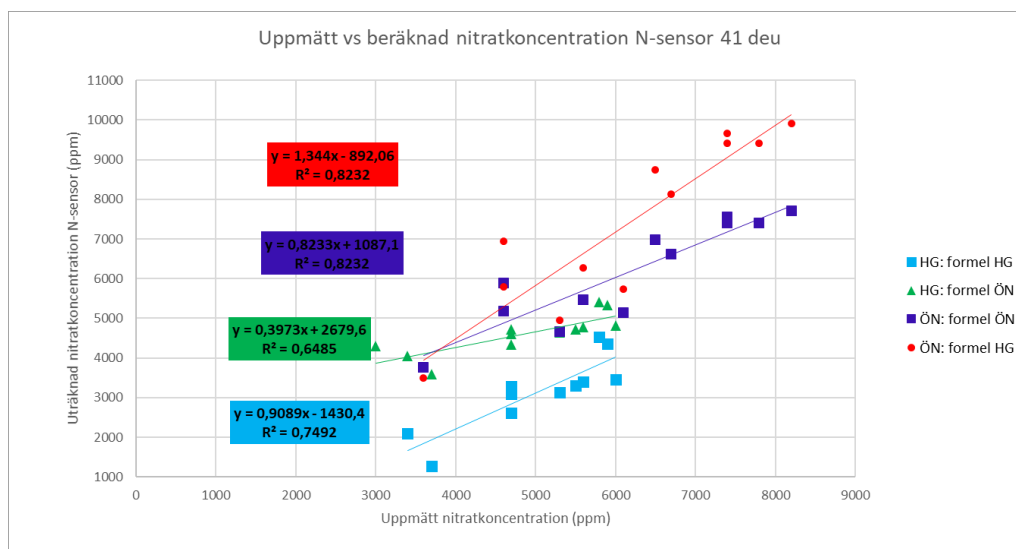
4.3.1. Försöken

Linjär regression gjordes för bladskaftanalysen gentemot N-sensorn respektive N-testern för att testa om det fanns ett samband mellan metoderna. Ett samband skulle kunna hjälpa till med att omvandla värdena som fått fram av N-sensor och N-testern; SN-värdet respektive N-testervärdet till nitratkoncentration i ppm som fås ut med bladskaftanalysen. Det gjordes dock ingen linjär regression för

satellitbilderna från Vultus då korrelationstesten visade en svag korrelation. Ekvationerna som fått fram från den linjära regressionen skiljde sig åt mellan de olika mättidpunkterna men också mellan försöksplatserna. När en jämförelse gjordes mellan den uträknade och den uppmätta nitratkoncentrationen var det i huvudsak starkare samband när jämförelsen gjordes för samma plats. Det fanns dock några tillfällen där Helgegårdens ekvation passade bättre i Önnestad eller tvärtom. Än så länge har det inte hittats en generell ekvation som kan användas utifrån N-sensorn och N-tester värdena. I figur 48, 49, 50 och 51 följer exempel för N-sensorn och N-testern där en jämförelse gjordes mellan den uppmätta nitratkoncentrationen och den uträknade nitratkoncentrationen för mättillfällena 34 dagar efter uppkomst och 41 dagar efter uppkomst. Utifrån figur 48 och 49 kunde det ses att vid 41 dagar efter uppkomst så var R^2 starkare för samtliga jämförelser med N-sensorn. Det sågs också att även om lutningen på linjära linjen var nära ett så finns det en förskjutning i sidled. I tabell 4 ses skevheten och den absoluta avvikelserna. Det som kunde ses var att det fanns både en underskattning (minusvärde i kolumnen skevhet) och överskattning (plusvärde i kolumnen skevhet). Även för den absoluta avvikelserna sågs det i huvudsak att när ekvationen från samma plats användes jämfört med om den andres försöksplatsekvation användes var avvikelserna mindre i förhållande till den uppmätta nitratkoncentrationen. Men det fanns undantag där avvikelserna var mindre med den andres försöksplats formel till exempel på Helgegården 41 dagar efter uppkomst. Användandet av formeln för Önnestad gav en mindre avvikelse än ekvationen som kom från Helgegården. Vid mätningen 34 dagar efter uppkomst var det en absolut avvikelse mellan 311 – 865 ppm medan mätningen 41 dagar efter uppkomst visade den absoluta avvikelserna vara 448 – 1844 ppm.



Figur 48: Den predikterade nitratkoncentrationen utifrån SN-värdet (y-axeln) har plottats mot nitratkoncentrationen som mättes i fältet (x-axeln). Vid 34 deu (dagar efter uppkomst), Önnestad (ÖN), Helgegården (HG).

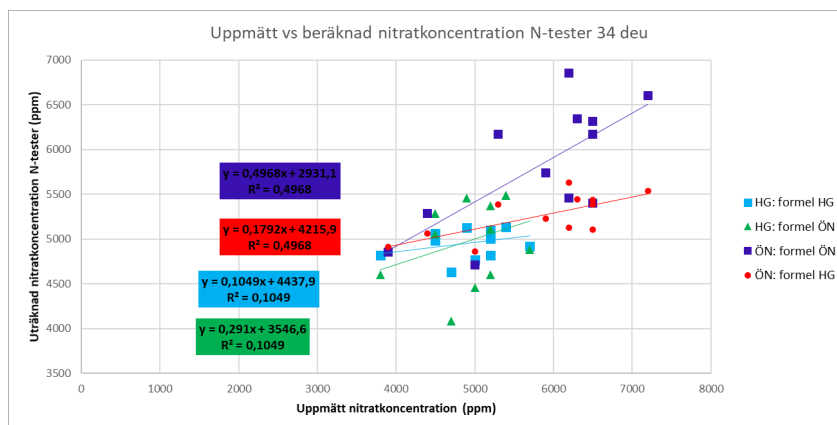


Figur 49: Den predikterade nitratkoncentrationen utifrån SN-värdet (y-axeln) har plottats mot nitratkoncentrationen som mättes i fältet (x-axeln). Vid 41 deu (dagar efter uppkomst), Önnestad (ÖN), Helgegården (HG).

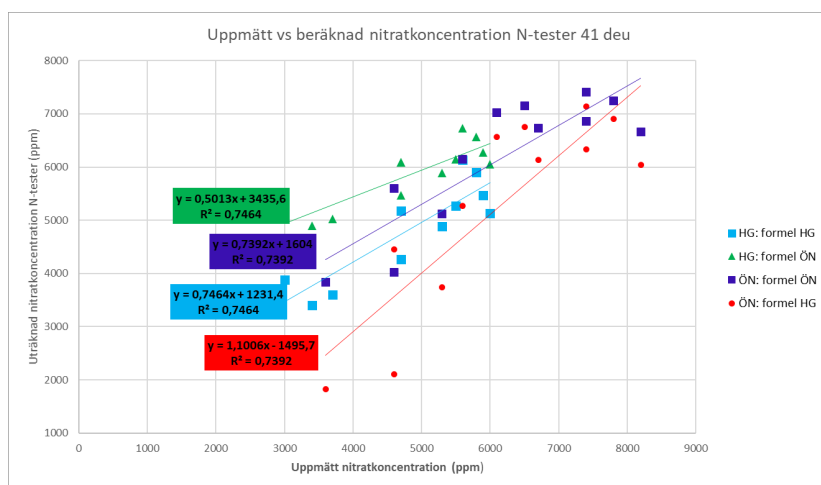
Tabell 4: Utvärdering av predikterande bladskaftsvärden (N-sensor), där R^2 , skevhet & den absoluta avvikelsen för de olika scenariona visas. (deu- dagar efter uppkomst, ÖN- Önnestad, HG- Helgegården).

| UTVÄRDERING | R^2 | SKEVHET (PPM) | ABSOLUT MEDEFEL (PPM) |
|--|-------|---------------|-----------------------|
| ÖNNESTAD (ÖN 34 DEU) | 0,437 | 0,00026 | 556 |
| ÖNNESTAD FORMEL HELLEGÅRDEN (ÖN 34 DEU) | 0,437 | 338 | 616 |
| HELLEGÅRDEN (HG 34 DEU) | 0,18 | 0,05 | 311 |
| HELLEGÅRDEN FORMEL ÖNNESTAD (HG 34 DEU) | 0,18 | -810 | 865 |
| ÖNNESTAD (ÖN 41 DEU) | 0,82 | 0,25 | 448 |
| ÖNNESTAD FORMEL HELLEGÅRDEN (ÖN 41 DEU) | 0,82 | 1223 | 1361 |
| HELLEGÅRDEN (HG 41 DEU) | 0,75 | -1618 | 1844 |
| HELLEGÅRDEN FORMEL ÖNNESTAD (HG 41 DEU) | 0,65 | -249 | 578 |

I figur 50 & 51 kan liknande figur som för N-sensorn (figur 48 & 49) ses fast för N-testern vid samma mättillfällen (34 & 41 dagar efter uppkomst). Även för N-testern så förhöll sig den uträknade nitratkoncentrationen sämre till den uppmätta nitratkoncentrationen vid mättillfället som skedde 34 dagar efter uppkomst jämfört med den efter 41 dagar efter uppkomst. I tabell 5 visas R^2 , skevheten och den absoluta avvikelserna när N-testervärdet användes för att räkna ut nitratkoncentrationen. Ekvationerna från de båda försöksplatserna har använts för att se om det skilde sig åt. I huvudsak sågs det att den absoluta avvikelserna var mindre när formeln från samma plats används jämfört med om den andres försöksplatsekvation används. Mätningen 34 dagar var det en absolut avvikelse mellan 382 – 859 ppm medan vid mätningen 41 dagar visade den absoluta avvikelserna vara 413 – 1013 ppm (Tabell 5). Skevheten varierande också med både en underskattning och överskattning av nitratkoncentrationen.



Figur 50: Den predikterade nitratkoncentrationen utifrån N-tester värdet (y-axeln) har plottats mot nitratkoncentrationen som mättes i fältet (x-axeln). Vid 34 deu (dagar efter uppkomst), Önnestad (ÖN), Hellegården (HG).



Figur 51: Den predikterade nitratkoncentrationen utifrån N-tester värdet (y-axeln) har plottats mot nitratkoncentrationen som mättes i fältet (x-axeln). Vid 41 deu (dagar efter uppkomst), Önnestad (ÖN), Hellegården (HG).

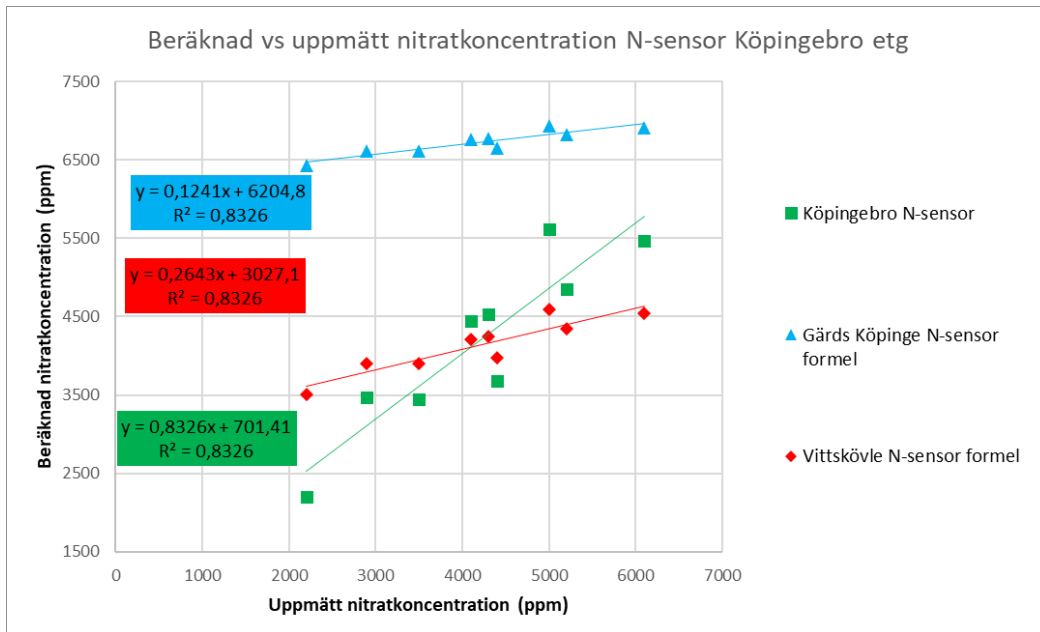
Tabell 5: Utvärdering av predikterande bladskafsvärden (N-tester), där R^2 , skevheten och den absoluta avvikelsen för de olika scenariona visas. (deu- dagar efter uppkomst, ÖN- Önnestad, HG- Helgegården).

| UTVÄRDERING | R^2 | SKEVHET (PPM) | ABSOLUT AVVIKELSE (PPM) |
|--|-------|------------------|-------------------------------|
| ÖNNESTAD (ÖN 34 DEU) | 0,5 | 0,15 | 568 |
| ÖNNESTAD FORMEL HELLEGÅRDEN (ÖN 34 DEU) | 0,5 | -565 | 859 |
| HELLEGÅRDEN (HG 34 DEU) | 0,11 | -0,14 | 382 |
| HELLEGÅRDEN FORMEL ÖNNESTAD (HG 34 DEU) | 0,11 | 31 | 475 |
| ÖNNESTAD (ÖN 41 DEU) | 0,74 | 0,25 | 564 |
| ÖNNESTAD FORMEL HELLEGÅRDEN (ÖN 41 DEU) | 0,74 | -877 | 998 |
| HELLEGÅRDEN (HG 41 DEU) | 0,75 | -0,47 | 413 |
| HELLEGÅRDEN FORMEL ÖNNESTAD (HG 41 DEU) | 0,75 | 1013 | 1013 |

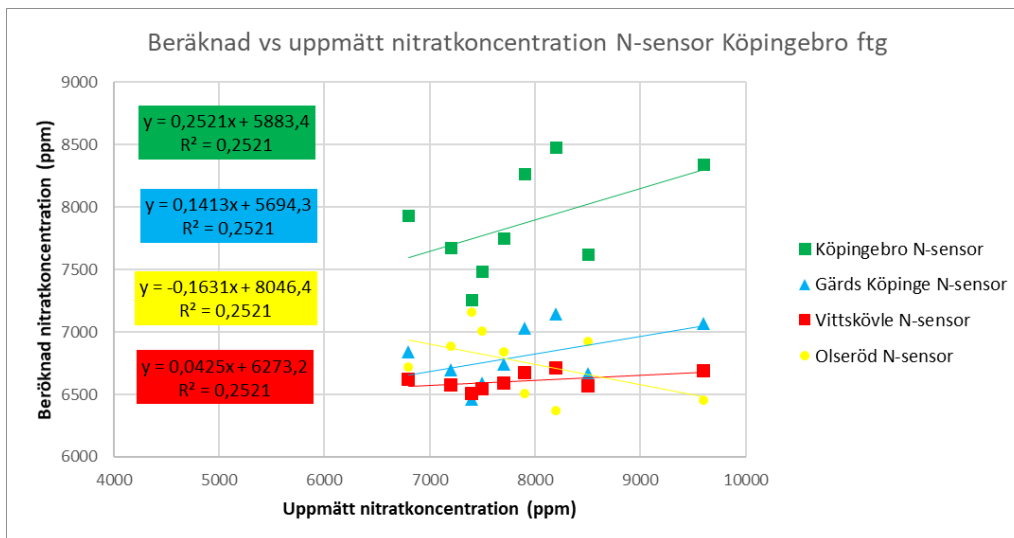
4.3.2. Fältobservationerna

Linjära regressioner genomfördes även i alla fältobservationer för de båda mätillfällena. Samtliga tillfälle visade svagt samband förutom där korrelations testet visade stark korrelation mellan bladskafsanalysen och N-sensorn respektive N-testern (Köpingebro efter tilläggsgödsling), se avsnitt 4.2.2. Även här visade det att när korrelationen mellan bladskafsanalysen och N-sensorn respektive N-testern var stark blev också förhållandet mellan den predikterade nitratkoncentrationen och den uppmätta nitratkoncentrationen också starkare. Vilket ses i figur 52 & 53, där det sågs att efter tilläggsgödsling förhåller nitratkoncentrationerna bättre till varandra jämfört med innan tilläggsgödslingen. Det sågs också att när ekvationen från Köpingebro användes var också förhållandet starkast jämfört om en av de andres odlares ekvationer användes. Den absoluta avvikelsen för ekvationen från

Köpingebro i Köpingebro efter tilläggs gödningen var 391 ppm jämfört med den uppmätta nitratkoncentrationen.



Figur 52: Den predikterade nitratkoncentrationen utifrån SN-värdet (y-axeln) har plottats mot nitratkoncentrationen som mättes i fältet (x-axeln). Tre olika ekvationer har använts från skilda odlare efter tilläggs gödningen.



Figur 53: Den predikterade nitratkoncentrationen utifrån SN-värdet (y-axeln) har plottats mot nitratkoncentrationen som mättes i fältet (x-axeln). Fyra olika ekvationer har använts från skilda odlare före tilläggs gödningen.

5. Diskussion

5.1.1. En jämförelse mellan bladskafsanalysen och metoderna N-sensor, N-tester och Vultus

Det fanns en stark korrelation mellan bladskafsanalysen och de båda metoderna N-sensorn och N-testern från 34 dagar efter uppkomst och framåt. Potatisen befann sig i stadiet 60, det vill säga vid blomning. För satellitbilderna från Vultus fanns där ingen korrelation med bladskafsanalysen. Första mätningen med bladskafsanalysen rekommenderas att ske 25-35 dagar efter uppkomst (Ekelöf & Råberg, 2011). För N-sensorn sägs det att 5 veckor (35 dagar) efter uppkomst kan kompletteringsgödslingen börja ske (Yara, 2021b). I försöken av Gianquinto et al. (2004) visade både klorofyllmätaren Yara N-tester och SPAD-502 starkast korrelation med nitratkoncentrationen 32 dagar efter uppkomst. I Goffart et al. (2008) försök visade liknande, att N-testern hade starkast korrelation gentemot nitratkoncentrationen 30-40 dagar efter uppkomst. Vid blomning var också den tidpunkt som passade att mäta med en klorofyllmätare. Både med tanke på starkast korrelation och även för att få utrymme till att kompletteringsgödsla (Ekelöf & Råberg, 2011). Slutsatsen som kunde dras var att när korrelationerna mellan metoderna var stark är också vid den tidpunkten som det är lämpligt att kompletteringsgödsla.

Utöver korrelationstest mellan metoderna har det även utförts ett korrelationstest mellan metoderna för de skilda kvävegivorna/leden. Där kunde ingen konkret korrelation ses. Ingen slutsats kan dras om mer eller mindre tillfört kväve gör det lättare eller svårare för någon metod att mäta kvävestatusen. För att en slutsats ska kunna dras gällande hur bra de olika metoderna är på att bedöma kvävestatusen vid skilda kvävegivor skulle det nog behövs ett större spann mellan lägsta och högsta kvävegiva. Gianquinto et al. (2004) nämner dock att det är svårt för klorofyllmätare att bedöma kvävestatusen vid höga kvävegivor, då mätaren undervärderar kvävestatusen vid lyxförhållanden. Det var även många försök som tog upp vikten om att ha en nollruta när en klorofyllmätare används för att kunna ha det som referens (Ekelöf & Råberg, 2011; Gianquinto et al., 2004; Olivier et al., 2006). Nollruta fanns inte i detta försök, men det bör övervägas att ha med ett gödslat led i kommande försök för att kunna ha en referens att utgå ifrån.

De första mätningarna visade en svagare korrelation mellan respektive metod; N-sensor och N-tester jämfört med bladskafsanalysen. Utfallet med en svag korrelation i början av säsongen kan ha flera förklaringar. Mätning med bladskafsanalysen kan ge felvisande resultat om en för tidig mätning sker (Ekelöf & Råberg, 2011). Det kan även förklaras med bilderna från de första tidpunkterna, där det sågs att potatisen var väldigt små och mycket jord/mark var synligt som nog kunnat påverka resultatet, framförallt N-sensorn och fjärranalysen som skannar av grödan. Zebarth and Rosen (2007) menar på att innan radslutning fungerar inte optiska metoder på beståndsnivå och även i slutet av säsongen när plantan vissnar ner. I Yu et al. (2013) försök var det en dålig korrelation mellan NDVI och kvävekoncentrationen för N-sensorn vid den vegetativa tillväxtfasen då grödan inte var täckande och marken påverkade resultatet. För N-sensorn blev korrelationen starkare under knölbildningen när det var full radslutning, kvävekoncentrationen och NDVI hade ett linjärt samband (Yu et al., 2013). Den svaga korrelationen i början av säsongen kan också förklaras med ojämn utveckling av plantorna vilket är svårare för N-sensorn att bedöma kvävestatus än för en homogen gröda (Zebarth & Rosen, 2007). Andra försök har visat att klorofyllmätarna SPAD-502 och Yara N-tester hade en svag korrelation gentemot bladskafsanalysen i början av säsongen (13 och 20 dagar efter uppkomst) men som sedan blev starkare till mitten av säsongen (Gianquinto et al., 2004). Det ska också sägas att de första mätningarna egentligen är tidpunkter som är för tidiga att göra en kompletteringsgödsling på. Att mätningar utfördes så tidigt efter uppkomstdatum var för att sättningen skedde sent, vilket resulterade i att mätningarna tog sin början tidigt efter uppkomsten av potatisen då undertecknande som utförde mätningarna endast var tillgänglig under ett visst antal veckor under sommaren. Det som skulle varit intressant skulle varit att mäta några fler tillfällen efter sista mätningen som skedde 59 dagar efter uppkomst, för att se om korrelationen höll i sig. För det har bland annat visat sig att korrelationen mellan nitratkoncentrationen och SPAD-502 var stark fram till 73 dagar efter uppkomst (sista mätningen) (Gianquinto et al., 2004). Även om att det vid senare tillfällen inte skulle ha stor nytta för att kompletteringsgödsla då det nog är för sent att åtgärda kvävebrist. En sen kvävegiva kan både leda till sämre kvalitet som gör det svårt att lagra potatisen men också kan stärkelsehalten sjunka (Linnér, 1995; Westermann, 1993).

Fältobservationerna som utfördes i fält visade att det fanns korrelation mellan bladskafsanalysen med respektive metod; N-sensorn och N-testern, även om det inte var hos alla odlare. Här visade heller inte satellitbilderna från Vultus någon stark korrelation. Ett exempel från odlaren i Vittskövle där det var svag korrelation, där gjordes första mätningen i Vittskövle ca 18 dagar efter uppkomst. Det visades i försöken att i början av säsongen var det svagare korrelation, vilket kan då också

kan förklaras att det även här blev svag korrelation. Däremot gjordes mätningen efter kompletteringsgödslingen 44 dagar efter uppkomst (20 dagar efter kompletteringsgödslingen) utan att en stark korrelation. Så frågan är om det är något som påverkat mätningen som gjort att korrelationen inte är stark. Möjligtvis är det ett tecken på att metoderna än så länge endast fungerar i försök och inte i praktisk odling, vilket skulle kunna förklaras med att i försöken skapas en större variation mellan kvävenivåerna medan i fälten hos odlarna finns endast den naturliga variationen i fältet. Att detta självständiga arbete har inkluderat fältobservationer har varit viktigt då det visade starkare korrelationer i försök jämfört med i praktisk odling, vilket är viktigt att ha med i åtanke och inte dra för stora slutsatser bara från försöken utan att även få med fältobservationerna när utvärderingen sker.

Utifrån de försök som ingick i denna studie kunde ingen allmän formel som togs fram från den linjära regressionen fås fram för att kunna översätta N-sensornvärdet eller N-tester värdet till nitratkoncentration. Att genomföra ytterligare liknande försök framåt i tiden kan hjälpa till med att komma fram till en formel som fungerar. I nuläget kan det endast se att det ekvationerna hade i huvudsak en starkare korrelation om formeln användes från samma plats och samma mättillfälle. Önskvärt skulle vara om en formel fungerar på alla platser och även vid alla tidpunkter. Det som skulle vara begränsande att endast ha en och samma formel skulle vara att förhållandena ser olika ut på olika platser. Men också om en annan sort odlas kan det också bli begränsande att endast ha en formel för det finns också skillnader mellan sort och sort.

5.1.2. Vilken metod ser kvävebrist först och led potatisen av kvävebrist?

Resultatet visade signifikanta skillnader mellan kvävegivorna/leden 16 dagar efter kompletteringsgödslingen med bladskafsanalysen. För både N-sensorn och N-testern tog det ytterligare ca 5-12 dagar (21- 28 dagar efter kompletteringsgödslingen) att ha signifikanta skillnaderna mellan leden. För fjärranalys med Vultus system sågs det aldrig någon signifikant skillnad mellan kvävegivorna. Tidigare studier har visat att med bladskafsanalysen kunde brist ses två veckor tidigare jämfört med klorofyllmätaren SPAD-502 (Muñoz-Huerta et al., 2013; Wu et al., 2007). Klorofyllmätaren SPAD-502 har dock visat att ha svårigheter att se skillnader mellan olika kvävegivor, utan kan först se skillnad i slutet på säsongen (Gianquinto et al., 2004; Muñoz-Huerta et al., 2013). Goffart et al. (2008) menar på att med Yara N-tester och SPAD kan endast se skillnad mellan gödslad och ogödslad på grund av låg känslighet att mäta klorofyllinnehållet i potatis. Dock visar försöken som står till grund till detta självständiga arbete att det

finns signifikanta skillnader mellan leden. Till en början var skillnaden endast signifikant mellan led 1 (100kg N/ha) och de resterande leden (150 kg, 200 kg, 250 kg N/ha). Vilket visar på att till en början var led 2,3 och 4 tillgodosedda med tillräckligt med kväve då det inte fanns en signifikant skillnad mellan dessa leden. Ju längre in på säsongen började även bli signifikanta skillnader mellan led 1, led 2 och de två övriga leden (led 3 & led 4). Även om det finns signifikanta skillnader här, så är det endast led 1 som är i kvävebehov som man ser till bladskaftsanalysen referenskurva. Vid de sista mätningarna blev det även signifikant skillnad mellan led 3 och led 4. Slutsatsen som kan dras här är att även om metoderna först ser en signifikant skillnad mellan led 3 och led 4 i slutet av säsongen så är det ingen brist hos metoden utan snarare har de båda leden tillräckligt med kväve och kanske till och med överskott. Ett överskott kan det vara om man ser till att referenskurvan som Lyckeby (Kristianstad, Sverige) själva har tagit fram visar ett optimum på 150 kg N/ha. Slutsatsen som ändå kunde dras är att bladskaftsanalysen kunde bedöma kvävestatusen tidigare där brister kunde hittas tidigare jämfört med N-sensorn och N-testern. Frågan är dock att även om bladskaftsanalysen visade en signifikant skillnad först gentemot de andra metoderna, hur länge har det varit en skillnad i mellan leden i fältet.

Fältobservationen hos odlaren i Gärds Köpinge, visades det vara väldigt stor skillnad i nitratkoncentration hos potatisen mellan de olika mätpunkterna. Korrelationen var svag till de andra metoderna och frågan är om det är för att bladskaftsanalysen är bättre på att se skillnader tidigare än de andra metoderna. Att det fanns en så stor skillnad i fält visade också vikten i att plocka tillräckligt många blad för att få överblick av statusen på hela fältet (Rölin et al., 2018; Westermann, 1993). Att till och med dela upp fältet i olika delar om man vet med sig att det finns stora skillnader i jordart för att göra rätt åtgärder (Westermann, 1993). Som kunde ses här fanns det en variation över fältet, vilket då skulle varit gynnsamt om till exempel N-sensorn skulle kunnat användas då man kan ge en varierad giva efter behov med N-sensorn (Feiffer et al., 2003).

Referenskurvan för bladskaftsanalysen ses det att nitratkoncentrationen minskar över säsongen (Rölin et al., 2018), vilket också ses i översiktsfigurerna (figur 27 & 31). Det noterades också att utifrån referenskurvan var det en viss fluktuation för nitratkoncentrationen mellan mättillfällena. Det kan förklaras med att vissa mätningar skedde efter regn eller bevattning vilket gör att nitratkoncentrationen i bladskaften späds ut (Rölin et al., 2018). Det sågs inga större fluktuationer för N-testervärdet och SN-värdet. En orsak till det kan vara att nitratkoncentrationen fluktuerar mer och klorofyllhalten är mer jämn med långsammare förändringar (Gianquinto et al., 2004). När nitratkoncentrationen sattes i förhållande till referenskurvan sågs det att led 1 led av brist i slutet av säsongen. Det kritiska tröskelvärdet för N-testern vid 40-50 dagar efter uppkomst är mellan 540-560

(Gianquinto et al., 2004). Under denna period innehöll nästan tre mättillfälle (41 dagar efter uppkomst, 48 dagar efter uppkomst, 53 dagar efter uppkomst). För 41 dagar efter uppkomst visade led 1 (100 kg N/ha) vara under eller i intervallet för det kritiska tröskelvärdet (536 i Önnestad och 554 på Helgegården), det vill säga led ledet av kvävebrist. Nästa mättillfällen (48 & 53 dagar efter uppkomst) är ingen av leden under det kritiska tröskelvärdet i Önnestad medan på Helgegården visade led ett en början till brist vid 48 dagar efter uppkomst (552) och brist 53 dagar efter uppkomst (520). Det får inte glömmas att tröskelvärdet minskar sedan med åldern på plantan (Busato et al., 2010). Så frågan är om grödorna på Önnestad är stressade av andra faktorer i och med att det inte visar brist för led 1 (100 kg N/ha), då Helgegården visar brist. En förklaring skulle kunna vara att om man ser till bladskafsanalys kurvan som jämfördes med referenskurvan sågs det att i Önnestad var led 1's kurva närmre referensen än på Helgegården. Önnestad har kanske en större kväveleverans från marken än Helgegården. Med en nollruta skulle man kunna få information om detta, som skrevs ovan bör det finnas med i framtida försök. Det är viktigt att veta hur stor kväveleveransen är från marken då en del kväve kan bli växttillgängligt genom mineralisering under säsongen, vilket man ska ha i åtanke vid beslut vid kompletteringsgödslingen. En annan förklaring kunde vara en stressad gröda. En stressad gröda kan påverka mätdata, där lika höga N-tester värde som en välgödslad gröda kan fås fram (Gianquinto et al., 2004). Som kan ses på nederbördsdatan var juli månad en torr månad och det bevattnades endast en gång i mitten av juli i Önnestad medan på Helgegården skedde mer kontinuerligt hela månaden med 11 bevattningar. En gröda som får för lite vatten kan bli stressad men även blir också näringsämnen mindre tillgängliga för växten (Linnér, 1995). Nitratkoncentrationen kan också uppvisas vara högre då saften får ett mer koncentrerat innehåll av nitrat (Rölin et al., 2018). En tredje förklaring till att Önnestads led ett förhåller sig närmre referenskurvan jämfört med på Helgegården är att 37 kg mer kväve har tillförts på Önnestad jämfört på Helgegården. En fjärde förklaring skulle kunna vara att i Önnestad har det tillförts flytgödsel vilket gjort att kanske mer kväve har tillförts än vad man har beräknat. Med stallgödsel är det svårt att veta exakt hur mycket kväve som gödseln innehåller och även så blir det en fördröjning av tillgängligheten då den först måste brytas ner innan grödan har möjlighet att ta upp näringen. Den sena mineralisering kan orsaka att innehållet av kväve till en början visas vara låg, men när kvävet blir tillgängligt blir kväveinnehållet högt. Om en tidig bedömning av kvävestatusen görs kan det ge missvisande resultat om stallgödsel används. I denna situation behövs det lite tålamod och vänta ut tills stallgödslen blir tillgänglig och inte tillföra mer kväve för då kan det sluta med att för mycket kväve tillförs.

5.1.3. Hur väl fungerar fjärranalys med Vultus system att bedöma kvävestatus i stärkelsepotatis?

Mätmetoden med satellitbilder sågs ingen signifikant skillnad mellan leden under någon av mätningarna. Som drönarbilderna visade sågs skillnaderna mellan leden med ögat 28 dagar efter kompletteringsgödslingen. I försök av Wu et al. (2007) där satelliten QuickBird användes kunde heller inte kvävebrist identifieras. Orsaken till det var för små försöksrutor som medförde att endast få pixlar kunde användas. Vilket skulle kunnat vara varför även i försöken som står till grund till detta självständiga arbete visade en svag korrelation, då rutorna var av storlek 24x24 meter och Vultus index baserades på data med 10 meter pixlar. I och med att endast en 10 meter pixel har använts har underlaget blivit sämre. För ju större pixlar man använder desto bättre underlag (Wu et al., 2007). Det som även sågs var att indexen från Vultus blev mättade (närmade sig ett) redan i mitten av säsongen. Precis som Nissen (2022) säger så använder sig Yara (Oslo, Norge) ett annat index för att slippa problemet att vegetationsindexet blir mättat. Så vid ett framtida försök skulle man kunna använda sig av ett annat vegetationsindex för att undgå detta problem. CropSAT som är en gratis tjänst för fjärranalys använder sig av indexet MSAVI2 som skulle kunna vara ett alternativ (Alshihabi et al., 2019). Qi et al. (1994) menar på att MSAVI2 är mindre känsligt för att bli mättat senare på säsongen i jämförelse med NDVI. Att använda MSAVI minskar också effekten av reflektans från marken i tidiga stadium. En annan förklaring till den svaga korrelationen skulle även kunna vara att georefereringen av satellitbilderna inte varit perfekt för försöken utan att en förskjutning skulle kunnat ha skett som i sin tur kunnat påverka resultatet. Men å andra sidan visar även fältobservationerna en svag korrelation där en förskjutning har mindre betydelse på grund av en gemensam giva över hela fältet. Så den slutsats som kan dras är att satellitbilder inte fungerade i just dessa försök som står till grund för detta självständiga arbete utan metoden kräver antingen större ytor för att få bättre underlag, ett annat index eller en noggrannare georeferering av satellitbilderna. Zhang et al. (2020) nämner, att använda sig av satellitbilder passar bättre vid storskaligt lantbruk jämfört med små fält och försöksrutor. För mindre ytor passar marksensorer bättre då det gör det lättare att mäta exakt där man vill.

Denna mätmetod har också en nackdel om det finns moln på himlen för då är det svårt att få fram data. Som beskrevs i bakgrunden använder sig Vultus av automatisk bortfiltrering av moln vid framställning av deras satellitbilder. Frågan är om det är tillräckligt eller det behövs en manuell bortfiltrering av satellitbilder då det förekommer moln. CropSAT som också använder satellit Sentinel-2, med denna tjänst sker moln bortfiltreringen manuellt (Alshihabi et al., 2019). Det skulle varit intressant och se om dessa metoderna skiljde dig åt för att se om den

automatiska borttagningen av molnbilder är tillräcklig eller ej. Peng et al. (2021) menar på att användas sig av drönare är ett bättre alternativ än satellitbilder på grund av molnfaktorn, vilket kanske är ett alternativ till liknande framtida försök.

En annan orsak till en svagare korrelation mellan bladskafsanalysen och fjärranalys med Vultus system kunde vara för att bladskafsanalysen utförs på bladnivå medan satellitdata mäter grödans status på beståndsnivå. Om man skulle kunna dra denna slutsats skulle dock också N-sensorn visa ett sämre samband än vad det gör för denna metod mäter också grödans status på beståndsnivå. Och även om fjärranalys med Vultus system korrelerade svagt med bladskafsanalysen kan trots den svaga korrelationen vara en bra metod på att mäta kvävestatusen. Det som skulle kunna göras till försök i framtiden skulle vara att en jämförelse görs mellan samtliga metoder som testas men för att bedöma vilken metod som är bäst på att bedöma kvävebehovet i varje fält så behövs skördedata.

5.1.4. Möjliga felkällor

Tidpunkten som datan samlades in i försöken skedde oftast under tidig morgon kl 6 och fram till kl 10 på förmiddagen. Enligt Vitosh and Silva (1996) kan avvikande värden minimeras för bladskafsanalysen om bladskafsten samlas in mellan kl 10 och 12. Frågan är om det har påverkat resultatet eller ej. För N-testern ska mätning undvikas mellan kl 9 och 15 på grund av bestrålning (Goffart et al., 2008). Vilket det i princip gjordes, så jag tror inte att denna faktor har påverkat mätdata som fått fram till detta självständiga arbete.

Innan försöken utfördes fanns det en oro hur potatisens blommor skulle påverka mätningarna med N-sensorn och fjärranalysen då dess metoder inte mäter på bladnivå. Potatisens blommor som har färgen vit/ljuslila skulle kunna påverka ljusreflektansen i och med att de inte är av färgen grön som resterande av plantan. I detta ettåriga försök sågs det inte att blommorna har påverkat, då N-sensorn och bladskafsanalysen började korrelera starkt med varandra vid begynnande blomning (stadie 60), vilket tyder på att det inte hade någon inverkan. Men det ska fortsatt finnas i åtanke inför framtida försök, för det finns skillnad mellan år gällande hur snabb avblommningen är.

Det ska även nämnas att all data har endast en jämförelse gjorts gentemot bladskafsanalysen, det vill säga att denna metod var som ett facit. Det gjordes i och med att det är denna metod som används på Lyckeby (Kristianstad, Sverige) idag och det finns vetenskap om hur mycket kväve som ska tillföras vid respektive nitratkoncentration. Det finns även mycket erfarenhet av denna metod i stärkelsepotatis. Det är inte så att bladskafsanalysen är helt felfri och inte har några brister. Bland annat som nämndes tidigare så kan nitratkoncentrationen bli utspädd om regn eller bevattning sker i samband med mätningarna. Vid torka kan också

nitratkoncentrationen bli mer koncentrerad (Rölin et al., 2018). En annan brist med bladskafsanalysen är att den rumsliga variationen inte syns med ett prov på 40 blad från ett fält utan det fås bara fram ett genomsnitt för fältet.

Som sågs vid översättning av SN-värdet och N-testervärdet till nitratkoncentration så fungerade det bäst vid samma plats och samma tidpunkt. Referenskurvorna varierar med plats, sort och tid på säsongen så ska de tolkas som rekommendationer och stöd till beslutet till kompletteringsgödslingen (Larsson Jönsson & Knutsson, 2016). Så även om denna metod är välprövad så ska den också tas med en nypa salt då det skiljer sig åt och inte är generell för alla platser och alla år. Det skulle vara intressant och se om det finns stora skillnader mellan olika platser och olika år, för att se hur generell den framtagna referenskurvan är.

5.1.5. Att tänka för framtida försök

Avgränsningar som gjordes var att det endast användes Kuras som sort. Om andra sorter skulle ha använts så kanske det skulle sett annorlunda ut. Litteraturen skriver att det är skillnad mellan sort och sort (Vitosh and Silva 1996). Anledningen till att Kuras användes var för att denna sort användes till största grad i stärkelseodlingen. Inför säsongen 2022 står Kuras för 40 % av den stärkelsepotatis som ska odlas. Resterande sju stärkelsepotatissorter står för resterande del. I framtida försök bör Kuras fortsatt användas både för det är den sort som odlas mest men också för att referenskurvan utgår från denna sort.

Som nämndes tidigare i diskussionen så användes även flytgödsel på försöksplatsen i Önnestad. Det bör som sagt undvikas till framtida försök då det både är svårt att veta hur mycket kväve som stallgödseln innehåller och även är det svårt att förutse när kvävet blir växttillgängligt. Den totala kvävegivan för varje led för respektive försöksplats skiljde även sig åt. Det gör det svårt att jämföra försöksplatserna åt, för att en jämförelse ska kunna göras bör försöksplatserna ha så lika förutsättningar som möjligt. Det skulle också vara bra att ha med en nollruta för respektive försöksplats för att både ha en ruta att kunna jämföra med men också se hur stor den marklevererande kväve det finns på platsen. Då kan det ses om olika platser har olika eller liknande förutsättningar gällande tillgängligheten på kväve.

En annan sak som skulle kunnat göra till ett framtida försök är att även ta skörden för varje ruta. Skördedata skulle kunnat användas till att se om rekommendationerna för respektive metod överensstämmer med referenskurvan. En skörd skulle också kunnat användas för att räkna ut en optimal kvävegiva och därmed kunna utvärdera metodernas förmåga att pricka in kvävebehovet. En faktor som gör det svårt att även ta skörden är att kostnaden att skörda så pass stora rutor kostar pengar. I och med att fjärranalys som kräver stora rutor 24x24 meter, men i och med att denna metod visade en svag korrelation skulle kanske mindre rutor

användas. Det skulle då göra det möjligt att eventuellt ta en skörd som inte kostar allt för mycket. En annan möjlighet skulle kunna vara att endast skörda en viss del av rutan yta för att få ut en skörd som kan representerar hela rutan.

I detta försök testades fyra olika metoder men finns en del andra intressanta metoder att mäta kvävestatus som skulle kunna testas framöver. En metod som skulle kunna testas skulle kunna vara GreenSeeker som nämndes i bakgrunden, som precis som N-sensorn är en aktiv sensor. GreenSeeker är ett instrument som både kan sitta på traktorn och hållas i handen (CropScan, 2018). Ett annat förslag skulle vara att använda sig av drönare. Drönare mäter ljusreflektansen liksom fjärranalys men då närmre grödan, vilket gör att påverkan av moln kan elimineras (Peng et al., 2021). Som nämndes tidigare skulle detta kunna vara en felkälla till varför fjärranalysen visade en svag korrelation. Även skulle det som sagt vara intressant att testa gratis tjänsten CropSAT för att se om det blir en skillnad mellan det som fås ut där jämfört med Vultus system. Skillnaden mellan CropSAT och Vultus är att molnfiltreringen sker på olika sätt, där för CropSAT sker manuellt och för Vultus automatiskt. CropSAT använder LIC data och Vultus använder mer processade L2A data. En annan skillnad är att olika index används då CropSAT använder sig av vegetationsindexet MSAVI2 medan Vultus använder GNDVI och NDRE (Alshihabi et al., 2019).

Upplägget på försöket tycks annars ha fungerat väl, ett förslag på ett annat upplägg skulle vara att ha sex olika kvävegivor från 0-250 kg. Att ha större giva än 250 kg N/ha skulle nog inte göra så stor skillnad då det var först vid sista mätningen (59 dagar efter uppkomst) som en signifikant skillnad sågs mellan 200 kg N/ha och 250 kg N/ha. Men det skulle varit intressant att se om den signifikanta skillnaden skulle kunnat ses tidigare om både 0 kg N/ha och 50 kg N/ha skulle använts.

Ett annan förbättringspotential av försöket som utfördes skulle kunna vara följande. Sättningen av potatisen skedde sent i jämförelse till det normala. Potatisen sätts i vanliga fall mitten/slutet av april men på de båda försöksplatserna sattes inte potatisen förens mitten av maj. Det gjorde att det blev en förskjutning på allt. Vid framtida försök bör man efterlikna det som är normalt för att kunna få ut ett trovärdigt resultat.

6. Slutsats

Slutsatsen som kan dras ifrån det ettåriga försök som utförts är att det finns en stark korrelation mellan bladskafsanalysen och N-sensorn respektive N-testern, en korrelation som påvisades från 34 dagar efter uppkomst och framåt. Försöken indikerar även på att kvävestatusen kan bedömas vid ett tidigare utvecklingsstadium med hjälp av bladskafsanalysen jämfört med både N-sensorn och N-testern. Ytterligare en slutsats som kan dras, just i dessa försök, är att fjärranalys med Vultus system inte korrelerade till bladskafsanalysen. Utifrån detta självständiga arbete baserat på ovannämnda ettåriga försök har många slutsatser för framtiden kunnat dras och om fler försök görs kan förhoppningsvis fler dras. Så sammantaget lever än hoppet om att i framtiden kunna ersätta bladskafsanalysen med andra metoder även efter denna sammanställning.

7. Referenser

- Abdullah, H. (2022). *personlig kommunikation*. In.
- Ali, M., Al-Ani, A., Eamus, D., & Tan, D. K. (2017). Leaf nitrogen determination using non-destructive techniques—A review. *Journal of Plant Nutrition*, 40(7), 928-953.
- Alshihabi, O., Piikki, K., & Söderström, M. (2019). CropSAT—a decision support system for practical use of satellite images in precision agriculture. International conference on smart Information & communication Technologies,
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. (1995). A review of vegetation indices. *Remote sensing reviews*, 13(1-2), 95-120.
- Bergsträsser, S., Fanourakis, D., Schmittgen, S., Cendrero-Mateo, M. P., Jansen, M., Scharr, H., & Rascher, U. (2015). HyperART: non-invasive quantification of leaf traits using hyperspectral absorption-reflectance-transmittance imaging. *Plant methods*, 11(1), 1-17.
- Blackmer, T. M., & Schepers, J. S. (1996). Aerial photography to detect nitrogen stress in corn. *Journal of plant physiology*, 148(3-4), 440-444.
- Bowen, T. R., Hopkins, B. G., Ellsworth, J. W., Cook, A. G., & Funk, S. A. (2005). In-season variable rate N in potato and barley production using optical sensing instrumentation. Western Nutrient Management Conference,
- Busato, C., Fontes, P. C. R., Braun, H., & Cecon, P. R. (2010). Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 33(14), 2148-2156.
- Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote sensing*, 7(4), 4026-4047.
- CropScan. (2018). *CROPSCAN, Inc.* <http://cropscan.com/msr.html>
- Datt, B. (1999). A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: tests using Eucalyptus leaves. *Journal of Plant Physiology*, 154(1), 30-36.
- Eastman, J. R. (2001). Guide to GIS and image processing Volume. *Clark university, USA*.
- Ekbladh, G., Linnér, H., & Torstensson, G. (2004). Kväveutnyttjande i potatis-och grönsaksodling. *Greppa näringens fakta blad*.
- Ekelöf, J., & Råberg, T. (2011). Växtnäringens inflytande på skörd och kvalitet i potatis. In.
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I., & Simonsson, M. (2019). *Kväve*. Studentlittertur.

- Errebhi, M., Rosen, C. J., & Birong, D. E. (1998). Calibration of a petiole sap nitrate test for irrigated 'Russet Burbank' potato. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29(1-2), 23-35.
- ESA. (2022). *Satellite description*. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/satellite-description>
- Feiffer, P., Feiffer, A., Schwaiberger, R., Leithold, P., Jasper, J., & Link, A. (2003). Hydro N-sensor. International Conference on Crop Harvesting and Processing,
- Gianquinto, G., Goffart, J., Olivier, M., Guarda, G., Colauzzi, M., Dalla Costa, L., Delle Vedove, G., Vos, J., & Mackerron, D. (2004). The use of hand-held chlorophyll meters as a tool to assess the nitrogen status and to guide nitrogen fertilization of potato crop. *Potato research*, 47(1), 35-80.
- Goffart, J., & Olivier, M. (2004). Management of N-fertilization of the potato crop using total N-advice software and in-season chlorophyll-meter measurements. *Decision support systems in potato production*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 69-83.
- Goffart, J., Olivier, M., & Frankinet, M. (2008). Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: past-present-future. *Potato Research*, 51(3-4), 355-383.
- Heege, H., Reusch, S., & Thiessen, E. (2008). Prospects and results for optical systems for site-specific on-the-go control of nitrogen-top-dressing in Germany. *Precision Agriculture*, 9(3), 115-131.
- Heege, H. J., & Thiessen, E. (2013). Sensing of Crop Properties. In *Precision in Crop Farming* (pp. 103-141). Springer.
- Hunt, E. R., Horneck, D. A., Spinelli, C. B., Turner, R. W., Bruce, A. E., Gadler, D. J., Brungardt, J. J., & Hamm, P. B. (2018). Monitoring nitrogen status of potatoes using small unmanned aerial vehicles. *Precision agriculture*, 19(2), 314-333.
- Jongschaap, R. E., & Booij, R. (2004). Spectral measurements at different spatial scales in potato: relating leaf, plant and canopy nitrogen status. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(3), 205-218.
- Jordbruksverket. (2021). Rekommendationer för gödsling och kalkning 2021. https://www2.jordbruksverket.se/download/18.dc97d8e176cea4b0ec29b80/1609846154443/jo20_12.pdf
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R. T., Anderson, M., Imhoff, M. L., Gutman, G. G., Panov, N., & Goldberg, A. (2010). Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. *Journal of climate*, 23(3), 618-633.
- KMC Agro. (2022). *Kuras*. <http://www.kmcagro.dk/kartoffelsorter/kuras/?alttemplate=KartoffelsortDetailAjax>
- Larsson Jönsson, H., & Knutsson, H. (2016). Kvävegödsling efter nitrat innehåll i bladskaff.
- Leadershok, A. (2004). Potato nitrogen management. *Journal of vegetable crop production*, 10(1), 97-132.
- Lindegren, C.-J. (2022). *personlig kommunikation*. In.

- Linnér, H. (1995). Styrning av kvävegödslingen i potatis. *Faktablad SLU*.
- Lundström, C., Delin, S., & Nissen, K. (2000). *Precisionsodling: teknik och möjligheter*. Sveriges lantbruksuniv.
- Malm, G. (2022). *personlig kommunikation*. In.
- Mattsson, L. (1989). Gödsla säkert - bestäm hur mycket kväve marken innehåller.
- Muñoz-Huerta, R. F., Guevara-Gonzalez, R. G., Contreras-Medina, L. M., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivarez, J., & Ocampo-Velazquez, R. V. (2013). A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. *sensors*, 13(8), 10823-10843.
- Nissen, K. (2022). *personlig kommunikation*. In.
- Olivier, M., Goffart, J. P., & Ledent, J. F. (2006). Threshold value for chlorophyll meter as decision tool for nitrogen management of potato. *Agronomy Journal*, 98(3), 496-506.
- Pagola, M., Ortiz, R., Irigoyen, I., Bustince, H., Barrenechea, E., Aparicio-Tejo, P., Lamsfus, C., & Lasa, B. (2009). New method to assess barley nitrogen nutrition status based on image colour analysis: comparison with SPAD-502. *Computers and electronics in agriculture*, 65(2), 213-218.
- Peng, J., Manevski, K., Kørup, K., Larsen, R., & Andersen, M. N. (2021). Random forest regression results in accurate assessment of potato nitrogen status based on multispectral data from different platforms and the critical concentration approach. *Field Crops Research*, 268, 108158.
- Penuelas, J., Baret, F., & Filella, I. (1995). Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, 31(2), 221-230.
- Penuelas, J., & Filella, I. (1998). Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in plant science*, 3(4), 151-156.
- Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. *Advances in agronomy*, 67, 1-85.
- POS. (2021). *Yara N-sensor*.
<https://pos.agrovast.se/precisionsskolan/matteknik/yara-n-sensor/>
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote sensing of environment*, 48(2), 119-126.
- Rosen, C. J., Errebhi, M., & Wang, W. (1996). Testing petiole sap for nitrate and potassium: A comparison of several analytical procedures. *HortScience*, 31(7), 1173-1176.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Schell, J., & Deering, D. (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*.
- Rölin, Å., Gunnarsson, A., Larsson Jönsson, H., & Olsson, G. (2018). *Tolkning av Nitrat- och Kaliumanalyser från plantsaft av potatisbladskäft i matpotatis* <https://hushallningsallskapet.se/wp-content/uploads/2019/02/tolkningshjalp-matpotatis-finalmedloggorhslayout1.pdf>
- Svensson, E., Linnér, H., & Carlsson, H. (1995). Utvärdering av växtanalys i fabrikspotatis.
- Söderström, M., Nissen, K., Gustafsson, K., Börjesson, T., Jonsson, A., & Wijkmark, L. (2004). Swedish farmers' experiences of the Yara N-sensor

- 1998-2003. Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture and other Precision Resources Management,
- Thompson, C. N., Guo, W., Sharma, B., & Ritchie, G. L. (2019). Using normalized difference red edge index to assess maturity in cotton. *Crop Science*, 59(5), 2167-2177.
- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., & Pleijel, H. (2007). Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis research*, 91(1), 37-46.
- Vitosh, M. L., & Silva, G. H. (1996). Factors affecting potato petiole sap nitrate tests. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 27(5-8), 1137-1152.
- Vos, J., & Bom, M. (1993). Hand-held chlorophyll meter: a promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage. *Potato research*, 36(4), 301-308.
- Vultus. (2022). *Our Unique Service*. <https://www.vultus.io/product>
- Westcott, M., Rosen, C., & Inskeep, W. (1993). Direct measurement of petiole sap nitrate in potato to determine crop nitrogen status. *Journal of plant nutrition*, 16(3), 515-521.
- Westermann, D. (1993). Fertility Management (Chapter 9).
- Wetterlind, J. (2021). Sensor, Marken i odlingen 2021. In.
- Williams, C., & Maier, N. (1990). Determination of the nitrogen status of irrigated potato crops: II. A simple on farm quick test for nitrate-nitrogen in petiole sap. *Journal of Plant Nutrition*, 13(8), 985-993.
- Wu, J., Wang, D., Rosen, C. J., & Bauer, M. E. (2007). Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. *Field crops research*, 101(1), 96-103.
- Yara. (2017). YARA N-tester bruksanvisning. In.
- Yara. (2021a). Så fungerar N-sensor. <https://www.yara.se/vaxtnaring/verktygsladan/yara-n-sensor/sa-har-fungerar-yara-n-sensor/>
- Yara. (2021b). Varierad gödsling med Yara N-sensor. <https://www.yara.se/vaxtnaring/verktygsladan/yara-n-sensor/varierad-godsling/>
- Yngveson, N. (2014). Olika kvävegödselmedel till höstvet. <http://www.skaneforsoken.nu/dokument/Olika%20kv%C3%A4veg%C3%B6dselmedel.pdf#:~:text=Nitratkv%C3%A4ve%20%C3%A4r%20den%20kv%C3%A4veform%20som%20v%C3%A4rden%20till%20allra,v%C3%A4rden%20oavsett%20om%20ett%20behov%20f%C3%B6religger%20eller%20ej.>
- Yu, J., Li, F., Qin, Y.-L., & Fan, M.-S. (2013). Active crop canopy sensor-based nitrogen diagnosis for potato. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 33(11), 3092-3097.
- Zebarth, B., Rees, H., Tremblay, N., Fournier, P., & Leblon, B. (2002). Mapping spatial variation in potato nitrogen status using the N Sensor. XXVI International Horticultural Congress: Toward Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetable Production 627,
- Zebarth, B., & Rosen, C. (2007). Research perspective on nitrogen BMP development for potato. *American Journal of Potato Research*, 84(1), 3-18.

- Zhang, K., Liu, X., Ma, Y., Zhang, R., Cao, Q., Zhu, Y., Cao, W., & Tian, Y. (2020). A comparative assessment of measures of leaf nitrogen in rice using two leaf-clip meters. *Sensors*, *20*(1), 175.
- Zhu, J., He, W., Yao, J., Yu, Q., Xu, C., Huang, H., & Jandug, M. B. (2020). Spectral reflectance characteristics and chlorophyll content estimation model of *Quercus aquifolioides* leaves at different altitudes in Sejila Mountain. *Applied Sciences*, *10*(10), 3636.
- Zubillaga, M., & Urricariet, S. (2005). Assessment of nitrogen status in wheat using aerial photography. *Communications in soil science and plant analysis*, *36*(13-14), 1787-1798.