



Insådd fånggröda och vårplöjning: långsiktiga effekter på kväve- och fosforutlakning från en mojord i Västergötland

Erica Aronsson

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för mark och miljö
Agronomprogrammet – Mark/Växt
Uppsala 2022



Insådd fånggröda och vårplöjning: långsiktiga effekter på kväve- och fosforutlakning från en mojord i Västergötland

Undersown catch crop and spring plowing: long-term effects on nitrogen and phosphorus leaching from a loamy sand soil in Västergötland

Erica Aronsson

Handledare: Lisbet Norberg, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö
Bitr. handledare: Helena Aronsson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö
Examinator: Anna Mårtensson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i Biologi
Kurskod: EX0894
Program/utbildning: Agronom – Mark/Växt
Kursansvarig inst.: Institutionen för mark och miljö
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2022
Omslagsbild: Lisbet Norberg
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Nyckelord: växtnäringsläckage, utlakningsförsök, odlingsåtgärder, senarelagd jordbearbetning, engelskt rajgräs, vinterbevuxen mark, lätt jord

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för mark och miljö

Sammanfattning

Utlakning av kväve (N) och fosfor (P) från jordbruksmark står för nära 50 % av den totala näringstillförseln till vattenmiljöer. Det är viktigt att minska utlakningen av flera anledningar, inte minst eftersom det leder till övergödning, vilket är ett av de största miljöproblemen. I ett av SLU:s långliggande försök (R0-8410) på en mojord i Västergötland undersöktes effekterna av insådd fånggröda (engelskt rajgräs) och vårbearbetning på kväve- och fosforutlakning under en 14-årsperiod. Försöksfältet bestod av åtta separat dränerade rutor med olika behandlingar: höstplöjning, vårpplöjning och vårpplöjning + fånggröda. Dräneringsvattnet från rutorna mättes och vattenprover samlades in varannan vecka. Analys gjordes med avseende på totalkväve (tot-N) och totalfosfor (tot-P).

I genomsnitt minskade kväveutlakningen signifikant med 16 % i ledet med vårpplöjning och 27 % med vårpplöjning + fånggröda, jämfört med höstplöjning. Motsvarande siffror för fosfor var en ökning på 10 respektive 45 %. Skördenivåerna i försöket påverkades varken av insådd fånggröda eller av senarelagd bearbetning. Slutsatsen blev att senarelagd jordbearbetning från höst till vår och insådd fånggröda minskade kväveutlakningen, men ökade fosforutlakningen.

Nyckelord: växtnäringssläckage, utlakningsförsök, odlingsåtgärder, senarelagd jordbearbetning, engelskt rajgräs, vinterbevuxen mark, lätt jord.

Abstract

Leaching of nitrogen (N) and phosphorus (P) from agricultural land accounts for almost 50 % of the total nutrient supply to aquatic environments. It is important to reduce leaching since it leads to eutrophication, which is one of the biggest environmental issues. In one of SLU's long-term field experiments (R0-8410) on loamy sand soil in Västergötland in western Sweden, the effects of an undersown catch crop (perennial ryegrass) and spring cultivation on nitrogen and phosphorus leaching were investigated during a 14-year period. The experimental field consisted of eight separately drained plots with different treatments: autumn tillage, spring tillage, and spring tillage + catch crop. The drainage water from the plots was measured and water samples were collected every second week. Analysis was performed for total nitrogen (tot-N) and total phosphorus (tot-P).

On average, nitrogen leaching decreased significantly by 16 % with the treatment of spring tillage and 27 % with spring tillage + catch crop, compared to autumn tillage. The corresponding numbers for phosphorus were an increase of 10 and 45 %, respectively. The yield was not affected by an undersown catch crop or delayed tillage. In conclusion, delayed tillage from autumn to spring, and undersown catch crop reduced nitrogen leaching, but increased phosphorus leaching.

Keywords: nutrient leaching, leaching experiment, cultivation measures, delayed tillage, perennial ryegrass, winter-covered soil, light soil.

Innehållsförteckning

1. Bakgrund.....	6
1.1 Övergödning.....	6
1.1.1 Nationella miljökvalitetsmål	6
1.2 Växtnäringsläckage från jordbruksmark.....	6
1.2.1 Kväve	6
1.2.2 Fosfor	7
1.3 Miljöskyddsåtgärder	8
1.3.1 Fånggrödor.....	8
1.3.1.1 Effekter på kväveförluster	8
1.3.1.2 Effekter på fosforförluster	10
1.3.2 Vårbearbetning.....	11
1.3.2.1 Effekter på kväveförluster	11
1.3.2.2 Effekter på fosforförluster	12
1.4 Syfte och Frågeställningar	12
2. Material och Metoder	13
2.1 Försöksplats	13
2.2 Fältplan och odlingsåtgärder.....	14
2.3 Provtagningar och analyser	16
2.3.1 Dräneringsvatten	16
2.3.2 Skörd	16
2.3.3 Statistisk analys.....	16
2.4 Litteratursökning	16
3. Resultat och Diskussion	17
3.1 Avrinning och väderdata	17
3.2 Kväveförluster	18
3.2.1 Årsvis – kväve	18
3.2.2 Månadsvis – kväve	21
3.3 Fosforförluster	23
3.3.1 Årsvis – fosfor.....	23
3.3.2 Månadsvis – fosfor	25
3.4 Avkastning.....	26
3.5 Slutsatser	27
Referenser.....	29
Bilaga 1.....	32

Bilaga 2.....	33
Bilaga 3.....	34
Bilaga 4.....	36

1. Bakgrund

1.1 Övergödning

Övergödning (eller eutrofiering) är ett av de största miljöproblemen som drabbar våra havsområden, sjöar och andra vattendrag. Det är främst tillförsel av kväve (N) och fosfor (P) som förknippas med problemet (Eriksson et al., 2011). Av denna tillförsel kommer en betydande andel från läckage från jordbruksmark via dräneringsvatten (Havs- och vattenmyndigheten, 2019a), varav kväve främst påverkar haven (Boesch et al., 2008 se Fölster et al., 2012) medan fosfor spelar en större roll för övergödningen i sjöar och vattendrag (Fölster et al., 2012). I Sverige beräknades den antropogena bruttobelastningen av fosfor från jordbruksmark för år 2009 vara 930 ton/år, vilket motsvarade 48 % av den totala mängden. Motsvarande siffra för kväve (efter retention) beräknades till 24 000 ton, vilket utgjorde 43 % av den totala mängden (Ejhed et al., 2011 se Fölster et al., 2012). I genomsnitt för hela Sverige beräknas förlusterna från åkermark vara ca 20 kg N/ha (Rundqvist, 1985) och 0,4 kg P/ha (Fogelfors (red.), 2015). Variationerna är emellertid stora då förlusterna beror av bland annat gödslingsintensitet, klimat och jordart (Rundqvist, 1985).

1.1.1 Nationella miljökvalitetsmål

Ingen övergödning är ett av Sveriges 16 miljökvalitetsmål. Det är främst från detta mål som åtgärderna för att reducera växtnäringstillförseln utgår. För att nå målet är minskningar inom jordbruket avgörande (Sveriges miljömål, 2022). Dessutom berörs målen Levande sjöar och vattendrag, Begränsad klimatpåverkan, Grundvatten av god kvalitet samt Myllrande våtmarker (Jordbruksverket, 2019).

1.2 Växtnäringssläckage från jordbruksmark

1.2.1 Kväve

Merparten av kväveförlusterna sker i nitratform (NO_3^-) (Stenberg et al., 1998), då nitratkväve i huvudsak är löst i markvätskan och inte bundet vid markpartiklar. Således kan nitrat transporteras från marken till omgivande vattendrag via dräneringssystemen (Fogelfors (red.), 2015).

Nitratutlakningen betingas av en mängd faktorer. Följande faktorer är några exempel.

- i) Hur omfattande mineraliseringen är när marken är obevuxen (Macdonald et al., 1989 se Aronsson & Torstensson, 1998; Lindén et al., 1999). Mineraliseringshastigheten påverkas av temperatur samt tillgången på vatten, syre och lättomsättbart organiskt material. När syre- och materialtillgången är god och temperaturen är hög ökar mineraliseringen och således risken för nitrattutlakning. Faktorer som ökar syretillgången kan vara tidig skörd och en tidig jordbearbetning. Vid syrebrist, exempelvis vid vattenmättnad i marken, sker istället denitrifiering av det nitrat som är tillgängligt (Fogelfors (red.), 2015; Havs- och vattenmyndigheten, 2019b; Person, 2003).
- ii) Avrinningens storlek, vilken beror av mängden nederbörd. Hur fördelningen av nederbörd ser ut under hösten är också av betydelse, framför allt tiden fram till att marken blir tjälad (Fogelfors (red.), 2015; Gustafson, 1985). Vanligen sammanfaller avrinningsperioden med en period då marken inte är bevuxen (Gustafson, 1985).
- iii) Skördetidpunkt och mängd restkväve som är lösligt i marken vid skörd. Med restkväve menas det kväve som grödan inte nyttjat under vegetationsperioden, till följd av ogynnsam väderlek eller andra orsaker (Fogelfors (red.), 2015; Lindén et al., 1999). En lång period mellan att grödan avslutar sitt kväveupptag och marken blir tjälad genererar att en större mängd kväve i marken hinner mineraliseras (Fogelfors (red.), 2015) och att ansamlingen av mineralkväve blir större. Det gäller särskilt vid tidig jordbearbetning (augusti eller början av september) och nedbrukning av skörderester under varma och fuktiga förhållanden (Lindén & Wallgren, 1993; Känkänen et al., 1998; Torstensson, 1998 se Aronsson et al., 2016).
- iv) Jordart. De största förlusterna av kväve sker på lätta jordar (Eriksson et al., 2011), vilka är lättgenomsläppliga samt har begränsad rotzon och låg vattenhållande förmåga (Stenberg et al., 1998; Havs- och vattenmyndigheten, 2019b). Utlakningen kan från sand- och mojordar bli stor (25–40 kg/ha) (Fogelfors (red.), 2015).

1.2.2 Fosfor

Fosforförluster från åkermark kan ske genom både utlakning och yterosion. Det senare är förenat med nederbörd, gödsling, jordart, topografi och i vilken utsträckning marken är bevuxen (Rundqvist, 1985; Andersson et al., 1987; Fogelfors (red.), 2015). Sett till jordart förloras vanligen små mängder fosfor från grovkorniga jordar, medan större mängder avgår från aggregerade finkorniga jordar

(lerjordar) (Eriksson et al., 2011) och jordar där halten organiskt material är hög. Topografiskt sett blir förlusterna störst på sluttande fält (Fogelfors (red.), 2015).

Störst förluster sker oftast i samband med ytavrinning (eller erosion då nederbörden är hög och avrinningen snabb) av partikulärt bunden fosfor som lätt transporteras med jordmaterialet och vattnet (Andersson et al., 1987; Gustafson, 1985). Erosionskrafterna gynnas i sin tur av den odlingsteknik som tillämpas, exempelvis effektiv dränering, frekvent jordbearbetning och plöjda, obevuxna ytor när vattenhalten är hög eller tjältining sker (Gustafson, 1985).

Vidare har studier visat att det generellt finns en korrelation mellan jordens fosforstatus och risken för fosforutlakning (Börling, 2003; Pionke et al., 2000 se Aronsson & Torstensson, 2009). Risken är framför allt stor om markens fosformättnadsgrad är hög (Börling, 2003 se Aronsson & Torstensson, 2009).

1.3 Miljöskyddsåtgärder

1.3.1 Fånggrödor

En åtgärd för att minska växtnäringsförluster från åkermark kan vara att hålla marken bevuxen genom att etablera så kallade fånggrödor. En vanlig fånggröda att använda är engelskt rajgräs (*Lolium perenne*), vilken brukar sås in i huvudgrödan under våren. Fånggrödan kan sedan låtas växa fram till senhösten efter att huvudgrödan skördats, eller till våren (Andersson et al., 1987; Aronsson et al., 2019).

1.3.1.1 Effekter på kväveförluster

Fånggrödor kan huvudsakligen användas som en effektiv åtgärd för att minska kväveläckage (se t. ex. Martinez & Guiraud, 1990; Lewan, 1994; Wyland et al., 1996 se Stenberg et al., 1998) under förhållanden då det finns risk att kvarblivet gödselkväve och kväve som mineraliserats under hösten lakas ut under vintern. Grödan tar upp detta kväve, vilket då minskar mängden kväve i markprofilen som kan lakas ut (Hansen & Djurhuus, 1997; Aronsson & Torstensson, 1998; Aronsson et al., 2019). Störst potential att minska kväveförlusterna har fånggrödor som är insådda och får växa över vintern. Detta eftersom odlingssystemet då är bevuxet året om (Aronsson et al., 2003; Aronsson et al., 2011) och man inte har någon bearbetning efter skörd av huvudgrödan, vilket annars kan resultera i ökad frigörelse av kväve (Aronsson et al., 2019).

Det finns flera faktorer som påverkar fånggrödors effekt på kväve, främst sådana som påverkar tillväxtmöjligheterna för fånggrödan, och som i sin tur påverkas av

klimatet i stor utsträckning (Aronsson et al., 2019). Följande faktorer är exempel på sådana.

i) *Såtidpunkt*

Såtidpunkt kan för höstsådda fånggrödor vara avgörande huruvida fånggrödan har någon effekt på kväveupptaget. En sen sådd (oktober) kan ge försumbar effekt på kväveupptaget medan en tidig sådd (augusti eller första halvan av september) ökar fånggrödans möjlighet att ta upp kväve och kan resultera i ett kväveupptag av 20–30 kg/ha i den ovanjordiska biomassan (Lindén et al., 2000 se Aronsson et al., 2016).

ii) *Fånggrödeart*

Grässorter lämpar sig väl att använda som fånggrödor under nordiska förhållanden. Framför allt engelskt rajgräs är en vanligt förekommande fånggröda med goda egenskaper som har visat sig vara användbar (se t. ex. Hansen & Djurhuus, 1997; Aronsson & Torstensson, 1998; Lindén et al., 1999; Aronsson et al., 2003; Aronsson & Torstensson, 2009; Aronsson et al., 2011) eftersom den reducerar ackumuleringen av mineralkväve och kväveutlakningen (Aronsson et al., 2016). I en litteraturöversikt av utlakningsförsök med olika fånggrödor fann Aronsson et al. (2016) att av 11 platser där utlakning mättes blev rajgräsets kväveupptag i biomassan ovan jord i genomsnitt 7–38 kg N/ha och att utlakningen i medeltal minskade med 48 % (med insädd fånggröda). Andra goda egenskaper som arten har är att den är någorlunda vinterhärdig, inte producerar frön första året och inte är alltför konkurrenskraftig. Dessutom blir skördeminskningen låg; vanligen mindre än 3 % vid en utsädesmängd på 7–10 kg/ha (Jensen, 1991; Andersen & Olsen, 1993; Wallgren & Lindén, 1994; Valkama et al., 2015, se Aronsson et al., 2016).

iii) *Tidpunkt för avdödning eller nedbrukning*

En fånggröda som tjänat sitt syfte brukas vanligen ned eller avdödas med en herbicid. En studie av Aronsson et al. (2011) visade att en herbicidbehandling i september jämfört med oktober minskade fånggrödans effekt på markmineralkvävet. På jordar där risken för kväveutlakning är hög är det särskilt viktigt att förlänga fånggrödans växtsäsong så länge som möjligt. Emellertid betonade Aronsson et al. (2016) att tillfället för avdödning på sådana jordar alltid behöver vägas mot andra aspekter också, såsom ogräskontroll, låg kväveutlakning och markpackning.

Vidare är även nedbrukningstidpunkt viktig. I en studie av Lindén et al. (1999) observerades att nedbrukning på våren jämfört med hösten

genererade bättre utlakningseffekt av fånggrödan. En annan studie av Aronsson et al. (2003 se Aronsson et al., 2019) undersökte samma effekt och fann att denna var 30–50 % bättre vid vårnedbrukning. Dock har nedbrukning av fånggrödematerial visat sig medföra en ökad utlakningsrisk till följd av ökad mineralisering. Risken är särskilt stor vid en misslyckad etablering av nya fånggrödor och/eller när upptaget av grödan är litet (Aronsson & Torstensson, 1998). Minskade skördenivåer efter nedbrukning har också observerats i några studier (Wallgren & Lindén, 1994; Lyngstad & Borresen, 1996 se Aronsson & Torstensson, 1998). Anledningen antas vara kväveimmobilisering (Martinez & Guiraud, 1990; Jensen 1991 se Stenberg et al., 1998) eller att fånggrödan utarmar mineralkvävet i marken innan nedbrukning (Thorup-Kristensen, 1993 se Stenberg et al., 1998).

iv) *Övriga effekter*

Vilken effekt som fås av fånggrödan påverkas också av jordart och nederbördsförhållanden. Exempelvis löper lätta jordar i milda och humida klimat störst utlakningsrisk då det är under dessa förhållanden som markkväve riskerar att bildas, varför effekten av fånggrödor är störst här (Aronsson et al., 2019; Jordbruksverket, 2019). Det är också viktigt att lyckas med etableringen av fånggrödan, att så dem varje år samt att de utvecklas och tillväxer väl. Annars är risken att man istället får en utebliven effekt eller ökad kväveutlakning (Lewan 1993, 1994 se Aronsson & Torstensson, 1998; Stenberg et al., 1998).

Det finns även negativa effekter av användningen av fånggrödor. En sådan kan vara problem med ogräs, dels till följd av försvårad mekanisk ogräsbekämpning under hösten (Andersson et al., 1987), dels kan fånggrödan i sig bli ett ogräs (Aronsson et al., 2016). En annan kan vara minskade skördenivåer av huvudgrödan (Andersson et al., 1987). Andersen & Olsen (1993 se Stenberg et al., 1998) och Wallgren & Lindén (1994 se Stenberg et al., 1998) menar att orsaken är konkurrens från fånggrödan. På längre sikt kan dock en frekvent användning av fånggrödor resultera i en ökad mängd av mineraliserbart kväve i marken (Jensen, 1992 se Aronsson & Torstensson, 1998). Denna mängd kan i sin tur utgöra en extra resurs för huvudgrödorna under tillväxtsäsongen och möjliggöra en minskad kvävegödsling.

1.3.1.2 Effekter på fosforförluster

Fånggrödor kan även ha positiv effekt på fosforförluster, främst partikulära sådana (Aronsson et al., 2019). Emellertid verkar det finnas en mindre tydlig korrelation mellan grödans upptag av lösligt fosfor och utlakning, än den för kväve. I

litteraturoversikten av Aronsson et al. (2016) visade den insamlade datan att fånggrödornas effekt på den totala fosforutlakningen varierade mellan en relativ ökning på 86 % och en minskning på 43 %. I de fall fånggrödorna ökade förlusterna av fosfor antogs det bero på att grödorna utsatts för upprepad cyklisk frysning/upptining. Det innebär en potentiell ökning av fosforförlusterna, både via utlakning genom marken och via avrinning från markytan (Bechmann et al., 2005; Riddle & Bergström, 2013; Oogaard, 2015 se Aronsson et al., 2016) om fosfor inte effektivt adsorberas av jorden (Aronsson et al., 2016).

I de fall fånggrödan har en positiv effekt på fosforförlusterna handlar det om att markytan täcks med vegetation, vilket således innebär att endast fånggrödor som växer över vintern är verksamma mot partikulära fosforförluster i form av erosion (Ulén & Kalisky, 2005; Uusi-Kämpää, 2008 se Aronsson et al., 2016; Aronsson et al., 2019; Rundqvist, 1985). Långsiktigt kan förlusterna också minska genom att fånggrödan förbättrar markstrukturen (Aronsson et al., 2019).

1.3.2 Vårbearbetning

1.3.2.1 Effekter på kväveförluster

Tidpunkten för jordbearbetningen kan vara betydande för hur stora växtnäringsförlusterna blir. Att senarelägga jordbearbetningen till sen höst eller vår kan, i varierande grad, minska risken för kväveutlakning (se t. ex. Rundqvist, 1985; Hansen & Djurhuus, 1997; Stenberg et al., 1998). Exempelvis minskade utlakningen med ca 25 % när höstplöjning ersattes med vårplöjning i en studie av Lindén et al. (1999). I andra studier var motsvarande siffror 20–40 % (Aronsson et al., 2003; Lewan, 1994 se Aronsson et al., 2019; Aronsson & Torstensson, 1998). Tvärtom tenderar en tidig bearbetning att ge en ökad utlakning (Stenberg et al., 1998). Orsaken är att under tidig höst är jorden varm och därför den mikrobiella aktiviteten i marken större, vilket således ger en högre mineraliseringshastighet. Bearbetning vid denna tidpunkt stimulerar mineraliseringsprocesserna (Rundqvist, 1985; Lindén et al., 1999; Stenberg et al., 1998), vilket genererar att kväve i marken frigörs (Lindén et al., 1999). I några försök har en del av vårbearbetningens effekt också omfattat kväveupptag i ogräs (Stenberg et al., 1998; Aronsson et al., 2010; Myrbeck, 2014 se Aronsson et al., 2019).

Det finns flera faktorer som påverkar vilken effekt av vårbearbetning som erhålls. Framför allt har jordarten stor betydelse. I huvudsak har lätta jordar med lerhalter under 20–30% uppvisat goda resultat på kväveutlakningen vid senarelagd höstbearbetning eller vårbearbetning. Jordens lerhalt begränsar också vilka jordar där vårbearbetning är tillämpbar; gränsen går kring 20–25 % ler (Aronsson et al., 2019).

Senarelagd bearbetning kan dock medföra negativa effekter såsom skördeminskning av huvudgrödan. Sådant var fallet i en studie av Stenberg et al. (1998) där bland annat kväveutlakningseffekter av olika bearbetningstidpunkter undersöktes. I denna studie var flera angrepp av kvickrot orsaken till minskade skördar, och slutsatsen drogs att fleråriga ogräs kan vara ett problem vid senarelagd jordbearbetning.

1.3.2.2 Effekter på fosforförluster

Senarelagd jordbearbetning kan också ge ett skydd mot erosion och därmed partikulära fosforförluster, vilket både flera svenska och norska studier har visat (Lundekvam & Skoien, 1998; Bechmann, 2012; Ulén, 1997; Ulén & Kalisky, 2005 se Aronsson et al., 2019). Eftersom effekten av vårbearbetning på fosforförluster handlar om att marken skyddas mot erosion, fås störst effekt på jordar där partiklar riskerar att förloras genom markprofilen eller på ytan. Minst effekt har erhållits på lätta genomsläppliga jordar. Men då åtgärden inte är möjlig på jordar med >25 % ler ger åtgärden framför allt ett skydd mot fosforerosion på mo- och mjälajordar som ligger på sluttande fält (Ulén & Jacobsson 2005; Ulén et al., 2010 se Aronsson et al., 2019).

1.4 Syfte och Frågeställningar

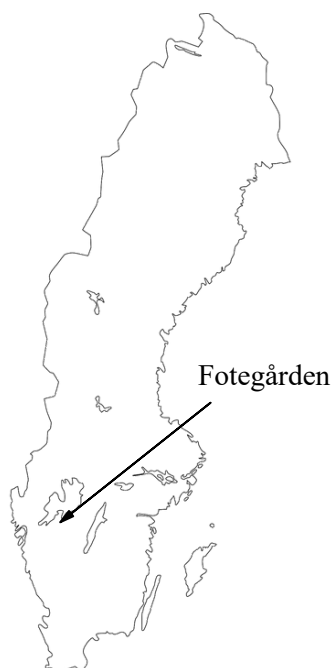
Syftet med rapporten är att undersöka hur insådd fånggröda och bearbetningsstidpunkt påverkar kväve- och fosforutlakning från en mojord i Västergötland under en 14-årsperiod. Frågeställningarna som skulle besvaras var:

- Hur påverkar insådd fånggröda utlakningen av kväve och fosfor?
- Vilken effekt har vårbearbetning på utlakningen av kväve och fosfor, jämfört med höstbearbetning?
- Påverkas skördenivåerna av vårbearbetning och insådd fånggröda?

2. Material och Metoder

2.1 Försöksplats

Försöket vid Fotegården (R0-8410) anlades 1992, men drivs i sin nuvarande form sedan 2007. Gården är belägen i Västergötland ca 7 km sydost om Lidköping, se figur 1.



Figur 1. Fotegårdens geografiska placering. (Bildreferens: Pixabay (u.å.).)

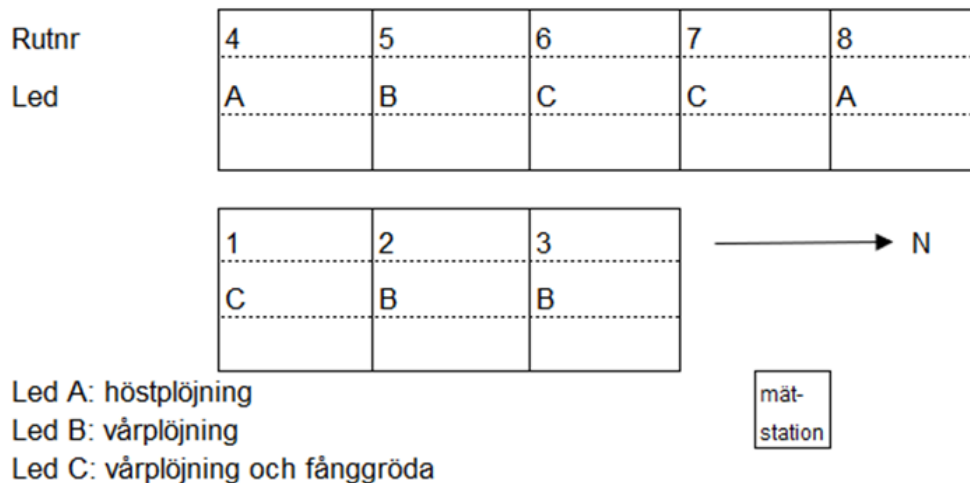
Jordartssammansättning på försöksfältet samt resultatet från en markkartering som utfördes på platsen år 2018 redovisas i tabell 1. Matjorden består av en måttligt mullhaltig lerig sandig mo, och i alven är jordarten en sandig mo. Matjorden har en hög fosforhalt, vilken motsvarar P-AL-klass V. pH-värdet är 6,5.

Tabell 1. Jordartssammansättning, mullhalt och pH-värde på försöksplatsen samt jordens innehåll av växttillgängligt fosfor vid markkartering år 2018. Värden är i medeltal för alla rutor

Markdjup (cm)	Ler (%)	Silt (%)	Grovmo (%)	Sand (%)	Mullhalt (%)	pH	P-AL (mg/100g)
0–30	6,5	10,0	67,9	10,2	5,3	6,5	19,1
30–60	4,7	8,5	71,3	13,0	2,2		
60–90	3,9	8,9	76,1	10,3	0,5		

2.2 Fältplan och odlingsåtgärder

Försöksfältet visas i figur 2 och bestod av åtta rutor (30*28 m). Rutorna fick olika behandlingar: höstplöjning (led A), vårplöjning (led B) eller vårplöjning och fånggröda (led C). Totalt sett behandlades två rutor med höstplöjning, tre rutor med vårplöjning och tre rutor med vårplöjning och fånggröda.



Figur 2. Fältplan över försöket R0-8410 vid Fotegården. A, B och C avser de tre leden (A = höstplöjning; B = vårplöjning; C = vårplöjning + fånggröda).

Växtföljd samt tidpunkter för sådd av huvudgröda, insådd av fånggröda och jordbearbetning framgår av tabell 2. Engelskt rajgräs användes som den huvudsakliga fånggrödan i försöket, med undantag för när höstråg respektive höstraps användes efter potatis (år 2010/2011 respektive 2016/2017). Fånggröda användes inte heller åren innan höstsäd odlades (år 2012/2013 och 2018/2019). Växtföljd, gödsling och växtskyddsbehandlingar bestämdes av gården. Alla rutor gödslades med lika mängder mineralgödsel och växtskydd användes vid behov, främst mot ogräs. Insådden av fånggrödan gjordes av försökspersonal på Lanna forskningsstation, SLU, och en utsädesmängd mellan 8–12 kg/ha användes. Höstplöjning skedde de flesta år i oktober-november och vårplöjning gjordes i mars-april.

Tabell 2. Huvudgrödor och fånggrödor samt tidpunkter för jordbearbetning under höst och vår.
Avsteg från försöksplanen är markerat i kursivt

	Huvudgröda (sådatum)	Fånggröda (datum för insådd)	Höstplöjning	Vårplöjning
2007/2008	Vårkorn (2007-04-11)	Engelskt rajgräs (2007-05-15)	2007-10-29	2008-04-16
2008/2009	Havre (2008-04-24)	Engelskt rajgräs (2008-05-14)	2008-10-17	2009-04-16
2009/2010	Vårkorn (2009-04-19)	Engelskt rajgräs (2009-05-13)	2009-11-05	2010-04-07
2010/2011	Potatis (2010-05-18)	<i>Höstråg</i> (2010-10-15)	2010-12-02	2011-04-07
2011/2012	Havre (2011-04-17)	<i>Ej fånggröda</i>	2011-12-02	<i>Höstplöjning i alla rutor</i>
2012/2013	Vårkorn (2012-04-15)	<i>Höstråg i alla rutor</i> (2012-09-16)	2012-09-15	<i>Höstplöjning i alla rutor</i>
2013/2014	Höstråg (2012-09-16)	Engelskt rajgräs (2013-06-10)	2013-10-14	2014-03-21
2014/2015	Vårkorn (2014-03-26)	Engelskt rajgräs (2014-07-18)	2014-10-30	2015-04-01
2015/2016	Malkorn (2015-04-06)	Engelskt rajgräs (2015-05-27)	2015-11-04	2016-03-23
2016/2017	Potatis (2016-04-28)	<i>Höstraps</i> (2016-08-11)	2016-10-25	2017-03-16
2017/2018	Vårkorn (2017-03-27)	Engelskt rajgräs (2017-05-16)	2017-10-27	2018-04-14 <i>samt</i> 2018-08-28 <i>inför</i> <i>höstvet</i>
2018/2019	Havre (2018-04-13)	<i>Höstvet i alla rutor</i> (2018-09-07)	2018-08-28	<i>Höstplöjning i alla rutor</i>
2019/2020	Höstvet (2018-09-07)	Engelskt rajgräs (2019-04-17)	2019-10-11	2020-04-05
2020/2021	Havre (2020-04-07)	Engelskt rajgräs (datum ej angivet)	2020-11-25	2021-04-07

2.3 Provtagningar och analyser

2.3.1 Dräneringsvatten

Försöksfältets åtta rutor var separat dränerade. Från vardera ruta leddes vattnet via dräneringsledningar till en brunn i en nedgrävd mätstation. I mätstationen mättes avrinningen för alla rutor tillsammans i ett V-överfall. Avrinningen registrerades dygnsvis med en datalogger som var kopplad till en tryckgivare som mätte vattenhöjden i V-överfallet. Då en viss mängd avrinning hade uppmätts aktiverades en peristaltisk pump som sög upp ett delprov (20 ml) av dräneringsvatten från varje enskild ruta. Delproven från varje enskild ruta samlades i dunkar som tömdes varannan vecka och vattnet sändes till Vattenlaboratoriet på Institutionen för vatten och miljö, SLU, för analys. Analys gjordes med avseende på totalkväve (tot-N) och totalfosfor (tot-P).

Dygnstransporten beräknades genom att den analyserade koncentrationen av ett ämne multiplicerades med alla dygnsavrinningar sedan föregående provtagningstillfälle. Dygnstransporten summerades sedan upp till månads- och årstransport. Månads- och årskoncentrationen från varje ruta beräknades genom att dividera månads- respektive årstransporten med den summerade månads- respektive årsavrinningen. Årsvärden avser agrohydrologiskt år, det vill säga 1 juli-30 juni. Läs mer om vattenprovtagningen i Aronsson et al. (2018).

2.3.2 Skörd

Stråsädens kärnskörd bestämdes försöksmässigt (3 tröskdrag per ruta). För potatis skördades 2 rader * 20 m.

2.3.3 Statistisk analys

Skillnader mellan leden analyserades med en envägs ANOVA-analys, med avseende på skördenivåer samt månads- och årsvisa värden för utlakning och koncentration i dräneringsvattnet för totalkväve respektive totalfosfor. Vidare användes Tukey's test för att påvisa de skillnader som fanns ($p < 0,05$).

2.4 Litteratursökning

Tryckt litteratur samt sökmotorerna SLU Primo och Google Scholar användes för att söka vetenskaplig litteratur. Tillämpad litteratur söktes på Google, där främst Havs- och vattenmyndigheten samt Jordbruksverket kom att användas. Sökord som användes var huvudsakligen *fånggrödor*, *vårplöjning*, *senarelagd bearbetning*, *kväveutlakning* och *fosforutlakning*. Dessutom användes data från SCB:s statistikdatabas och SMHI:s meteorologiska stationer.

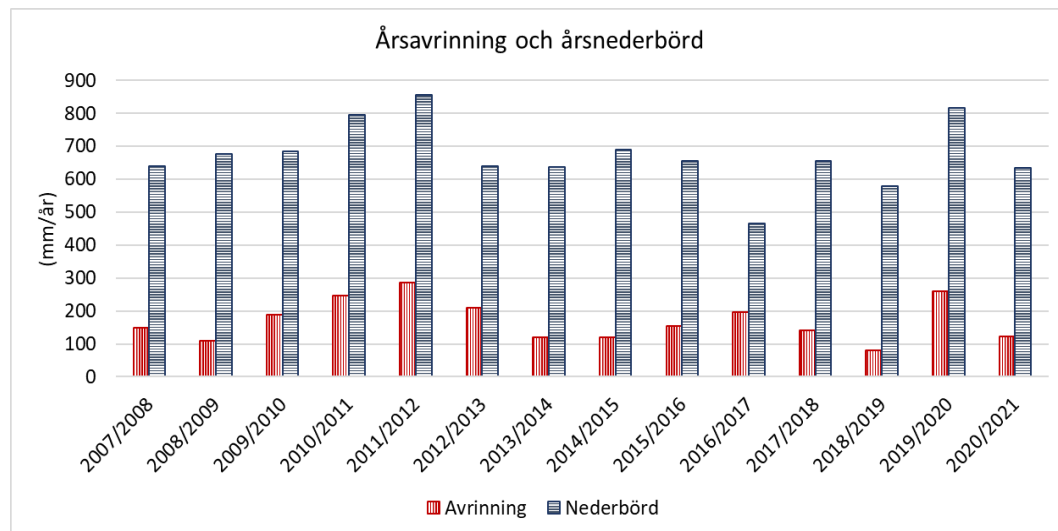
3. Resultat och Diskussion

3.1 Avrinning och väderdata

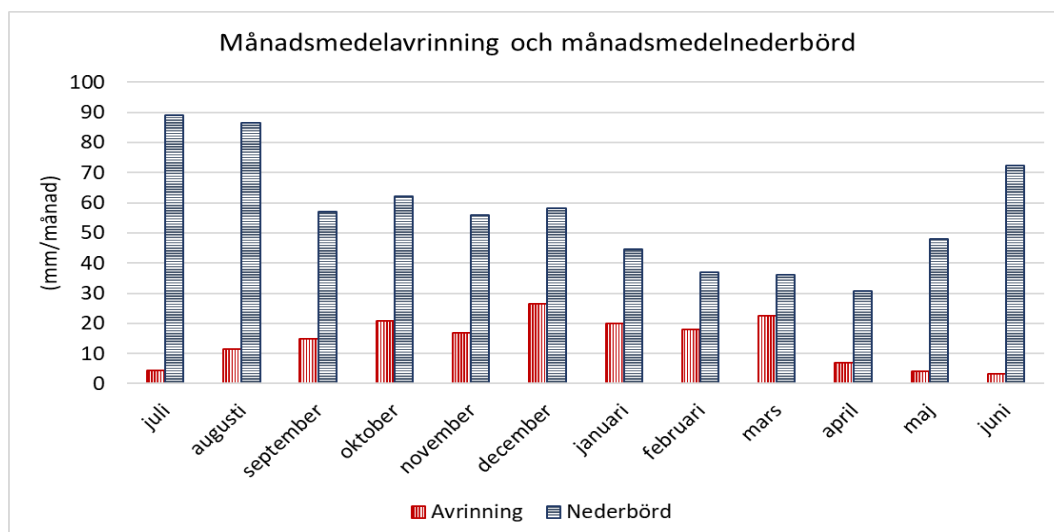
Den årliga medelavrinningen- och nederbörden för försöksperioden 2007–2021 framgår av figur 3. Årsnederbörden varierade mellan 465–856 mm/år och avrinningen mellan 80–265 mm/år. I figur 4 redovisas nederbördens och avrinningens fördelning under året. Medelavrinningen varierade mellan månaderna och var störst under december (27 mm/månad) och minst under juni (3 mm/månad). Nederbörden varierade också mellan månaderna. Den högsta uppmätta nederbörden erhöles i juli (89 mm/månad) och den lägsta i april (31 mm/månad). Avrinningen följer inte nederbörden eftersom under sommaren avdunstar en stor del av nederbörden via vegetationens transpiration och marken (Havs- och vattenmyndigheten, 2019b) eller tas upp av den växande grödan, medan under vintern finns ingen växande gröda och avdunstningen är låg, vilket därmed ger en högre avrinning.

I figur 5 visas månadsmedeltemperaturer. Januari och februari hade vanligtvis temperaturer under 0°C och juni-augusti strax över 15°C.

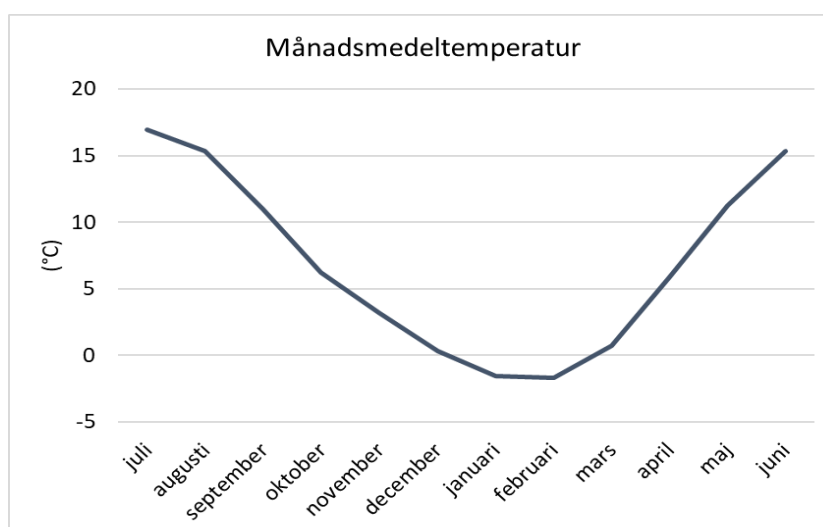
Mer detaljerad information om nederbörd, avrinning och temperatur över hela försöksperioden redovisas i bilaga 1 och 2.



Figur 3. Årsmedelavrinning- och nederbörd (mm/år). Årsmedel avser agrohydrologiskt år (1/7–30/6). Nederbördsdatan är hämtad från SMHI:s meteorologiska station i Lidköping.



Figur 4. Månadsvis medelavrinning- och nederbörd (mm/månad) för åren 2007–2021. Nederbördsdatan är hämtad från SMHI:s meteorologiska station i Lidköping.



Figur 5. Fördelning av temperaturen (°C) över året. Datat är hämtad från SMHI:s meteorologiska station i Skara.

3.2 Kväveförluster

3.2.1 Årsvis – kväve

Årsmedel av utlakning och koncentration av totalkväve i dräneringsvattnet för de tre leden (höstplöjning, vårplöjning, vårplöjning + fånggröda) under försöksåren 2007–2021 visas i figur 6. För åren 2007/2008, 2013/2014 och 2019/2020 fanns signifikanta skillnader mellan leden, för både utlakning och koncentration. I medel över alla 14 år minskade utlakningen signifikant med 27 % för ledet med vårplöjning och fånggröda jämfört med höstplöjning. I ledet med vårplöjning var motsvarande minskning 16 %, jämfört med ledet med höstplöjning. Denna

minskning var signifikant för koncentrationen men inte för utlakningen. Nästan samtliga år minskade utlakningen och koncentrationen med vårplöjning, och ytterligare med vårplöjning i kombination med fånggröda. Störst signifikant minskning erhöles 2019/2020 mellan ledet med höstplöjning och det med vårplöjning och fånggröda, vilket motsvarade 41 %.

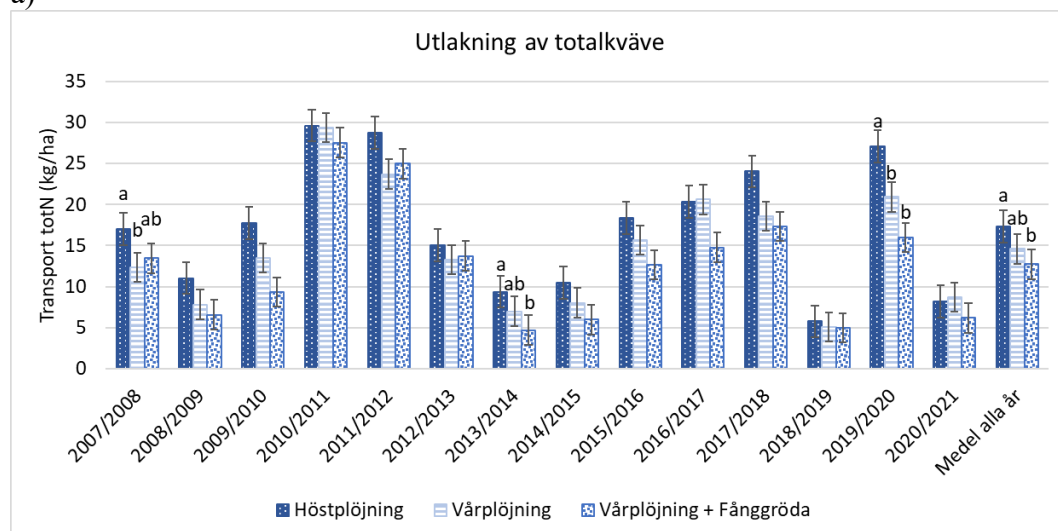
Mängden utlakat kväve som uppmättes varierade mellan 5 och 30 kg tot-N/ha. Värdena är likartade med värden från andra liknande försök (se t. ex. Aronsson et al., 2003). Mest troligt är att variationer i avrinning och klimatförhållanden bidragit till den varierade utlakningen. Nederbördsrika år, exempelvis 2011/2012 och 2019/2020, var utlakningen stor. Tvärtom var utlakningen liten år då nederbörden var begränsad (figur 3). Exempelvis erhöles den lägsta utlakningen för alla led 2018/2019, då avrinningen var obefintlig under vinterhalvåret (bilaga 1), till följd av den ovanligt torra och varma sommaren 2018 (bilaga 2). Under detta år ackumulerades troligen mineraliserat kväve i marken och bidrog till den ökade utlakningen året därpå. Temperaturen inverkade troligen också. Under vintermånaderna 2019/2020 var exempelvis temperaturen som högst relativt andra år (bilaga 2), vilket kan ha bidragit till ökad mineralisering och därmed kväveutlakning.

Vidare var kväveutlakningen störst i alla led under år 2010/2011. Det kan bero på att potatis var den odlade huvudgrödan 2010. Potatis har rapporterats vara en gröda där risken för kväveutlakning är särskilt stor (Fogelfors (red.), 2015), bland annat till följd av att grödans rotmassa, rotdjup och växtsäsong är begränsad (Havs- och vattenmyndigheten, 2019b) och att mängden restkväve i marken ofta är större efteråt relativt andra grödor (Lindén et al., 1994 se Lindgren et al., 2007). Dessutom påbörjas grödans utveckling, och därigenom kväveupptagning, sent (Maidl et al., 2002 se Lindgren et al., 2007). Potatis odlades också 2016, men utlakningen 2016/2017 var lägre detta år. Det antyder att de olika höstgrödorna (höstråg respektive höstraps) som såddes efteråt antingen fungerade olika väl som fånggrödor och/eller att potatisens kväveutbyte var olika bra. För att fastställa vad som haft störst inverkan på utlakningen i detta försök hade potatisens kväveutbyte, innehållet av mineralkväve i marken samt höstgrödornas kväveinnehåll kunnat redovisas och analyseras. Det gjordes exempelvis i ett försök av Lindgren et al. (2007). I det försöket visade det sig att sådd av höstråg som fånggröda efter potatis inte hade någon effekt på kväveutlakningen. I ett annat försök av Aronsson et al. (2003) där potatis också ingick i växtföljden, följt av höstråg som fånggröda, hade potatisen ett genomsnittligt skördeutbyte på 97 % av tillfört gödselkväve, men utlakningen detta år blev trots det störst av försöksåren – troligen på grund av liten tillväxt hos rågen under hösten. Det senare kan likaså vara fallet i detta försök. Rågen såddes i mitten av oktober och därefter följde en kall höst (bilaga 2), vilket

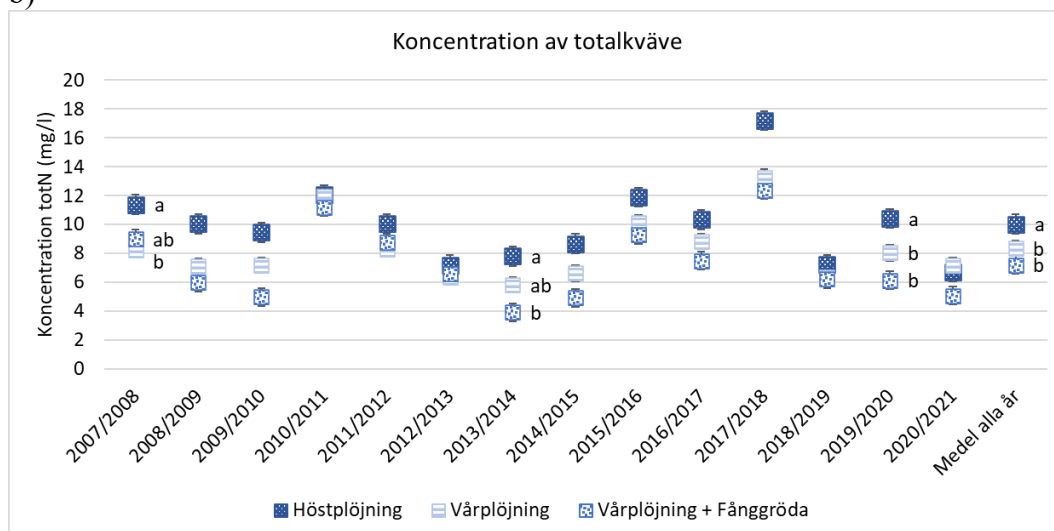
kan ha inneburit att rågen inte utvecklades tillräckligt och därigenom haft begränsat kväueupptag. Lindén et al. (2000 se Lindgren et al., 2007) föreslår att potatis tas upp tidigt och att höstråg sås direkt därefter för att effekten av höstråg som fånggröda ska bli god.

Sett till bearbetningstidpunkt kan senarelagd bearbetning leda till problem med framför allt fleråriga ogräs och därigenom skördeminskningar till följd av konkurrens (Stenberg et al., 1998). Det senare är inte fallet i detta försök (figur 10), även om en stor ogräsmängd har observerats vissa år; av de angivna ogräarterna framstår kvickrot vara den vanligast förekommande arten (bilaga 3). Stenberg et al. (1998) föreslog emellertid att problemen med ogräs kan minskas med en fånggröda som engelskt rajgräs och att ogräset i sig kan verka som fånggröda, det vill säga ta upp överblivet restkväve i marken. Det sistnämnda visades i ett försök av Aronsson et al. (2003), där bland annat kväveinnehållet i fånggrödans respektive ogräsen ovanjordiska delar mättes. Dessa var likvärdiga vissa år. Underlaget som hör till detta försök och redovisas i bilaga 3 är dock för litet för att några slutsatser ska kunna dras utifrån det. Vidare hade kväveinnehållet i ogräsen biomassa behövt redovisas för att veta säkert vilken effekt ogräsen haft på kväveutlakningen.

a)



b)



Figur 6. Årsmedel av a) utlakning (kg/ha) och b) koncentration (mg/l) av totalkväve i dräneringsvattnet för de tre leden, höstplöjning, vårplöjning och vårplöjning + fånggröda. Dessutom visas medelvärdena för alla 14 försöksår. Årsmedel avser agrohydrologiskt år (1/7–30/6). Olika bokstäver betyder att det finns statistiskt signifikanta skillnader ($p < 0,05$). Felstaplarna visar standardfel.

3.2.2 Månadsvis – kväve

Medelvärden av den månadsvisa utlakningen och koncentrationen av totalkväve i dräneringsvattnet för de tre leden redovisas i figur 7. Utlakningen minskade med vårplöjning och ännu mer med vårplöjning kombinerat med fånggröda, men dessa skillnader var inte signifikanta. För koncentrationerna fanns signifikanta skillnader för alla månader utom oktober och november. Även för koncentrationerna medförde höstplöjning högst ledmedelvärden och vårplöjning med fånggröda lägst värden. Samtliga värden låg inom intervallet 6 och 11 mg/l och varierade tämligen lite över tid.

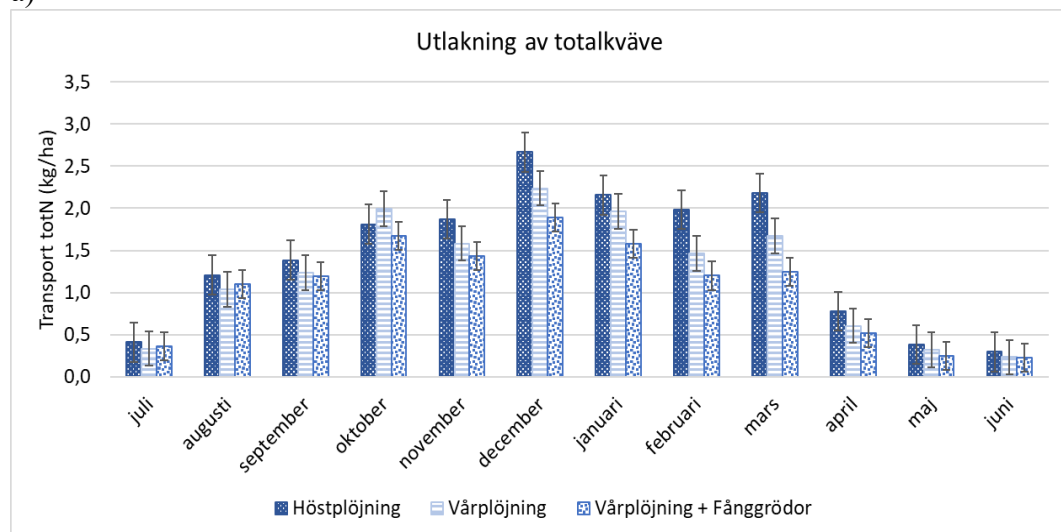
Utlakningsmängderna var som störst under vinterhalvåret. Under december skedde den största utlakningen (2,7 kg tot-N/ha, ledet med höstplöjning). Även för de andra två leden var utlakningen stor denna månad (2,2 respektive 1,9 tot-N/ha). Mars utmärkte sig också som en månad med hög utlakning, men också som den månad då kväveutlakningen reducerades som mest av att fånggrödan lämnades kvar att växa fram till vårplöjning.

Ett samband kan ses mellan utlakningen och avrinningen. Samma mönster med ökad utlakning under vintermånaderna fanns hos avrinningen, med störst värden under december och mars (figur 4). Att avrinningen, och därmed utlakningen, ökade under mars kan bero på stigande temperatur och smältande tjäle och snö (figur 5;

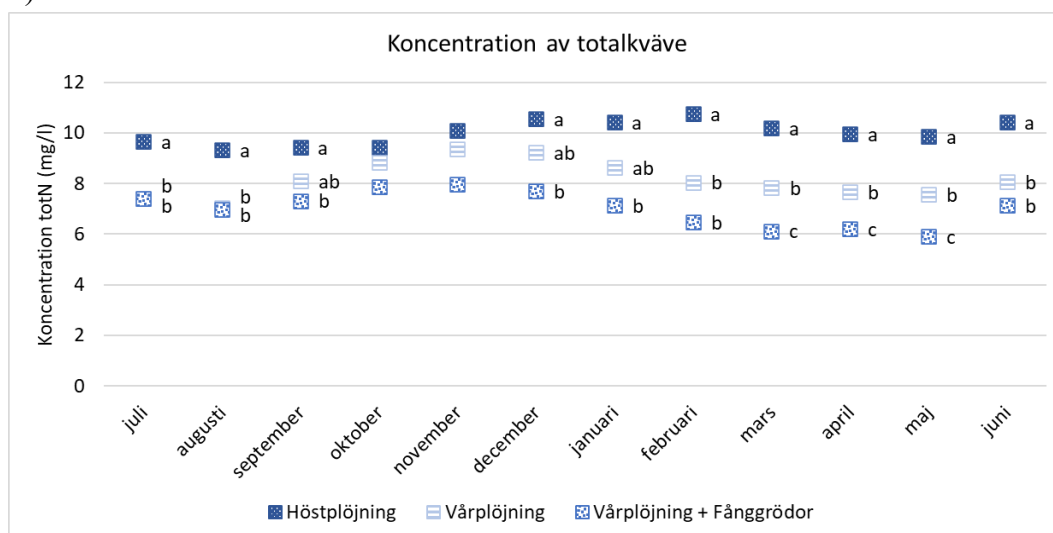
bilaga 2). Under flera av åren ökade dessutom nederbörden vid denna tidpunkt (bilaga 1).

Vidare är kväveutlakningen positivt korrelerad med mineraliseringen. Mineraliseringen i marken mättes emellertid inte i detta försök, men det har gjorts i flera andra studier (se t. ex. Aronsson et al., 2003a; Lindén et al., 1999) där korrelationen mellan utlakning och mineralisering påvisats. Genom bearbetning gynnas mineraliseringsprocesserna i marken (ex. Aronsson et al., 2019), varför det är en viktig orsak till att kväveutlakningen blev högre i ledet som höstplöjdes än i de led som låg obearbetade fram till våren. Vidare antyds det kväve som frigjordes under våren vid vårplöjning komma huvudgrödorna till godo eftersom utlakningen var relativt låg under april månad då marken de flesta år bearbetades i de vårplöjda leden.

a)



b)



Figur 7. Medelvärden av månadsvis a) utlakning (kg/ha) och b) koncentration (mg/l) av totalkväve i dräneringsvattnet för de tre leden, höstplöjning, vårplöjning och vårplöjning + fånggröda. Olika bokstäver betyder att det finns statistiskt signifikanta skillnader ($p < 0,05$). Felstaplarna visar standardfel.

3.3 Fosforförluster

3.3.1 Årsvis – fosfor

Årsmedel av utlakning och koncentration av totalfosfor i dräneringsvattnet för de tre leden under försöksåren 2007–2021 visas i figur 8. För både utlakning och koncentration fanns signifikanta skillnader mellan leden år 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2019/2020 samt för 14-årsmedel. I medeltal för hela försöksperioden ökade både utlakningen och koncentrationen med 10 % för vårplöjning jämfört med höstplöjning och för vårplöjning med fånggröda erhöles en signifikant ökning på 45 % jämfört med höstplöjning. Att fosforkoncentrationen- och utlakningen ökade med vårplöjning och ännu mer med kombinationen vårplöjning och fånggröda var fallet nästan alla år, även om skillnaderna inte var signifikanta alla år.

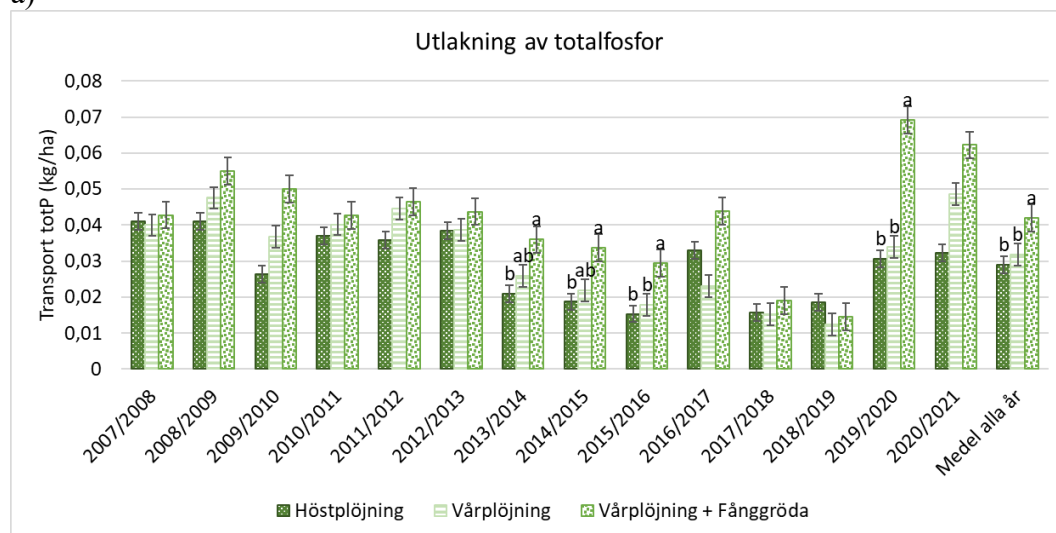
Den största signifikanta skillnaden i utlakning mellan höstplöjning och vårplöjning i kombination med fånggröda var 2019/2020, med en ökning på 126 %. Detta år och led uppmättes också den största utlakningen (0,07 kg tot-P/ha). Den minsta utlakningen som uppmättes var 0,01 kg tot-P/ha (2018/2019, ledet med vårplöjning). Trots markens höga fosforklass (tabell 1) anses utlakningen emellertid vara liten då den var $< 0,1$ kg/ha (Aronsson et al., 2016), vilket dels indikerar att marken effektivt adsorberar fosfor (Norberg & Aronsson, 2019), dels kan vara ett resultat av att lerhalten är låg (Eriksson et al., 2011). För vårplöjning jämfört med

höstplöjning fanns ingen signifikant skillnad för något av leden, vilket tyder på att det är fånggrödan som ökar utlakningen av fosfor, inte bearbetningstidpunkten.

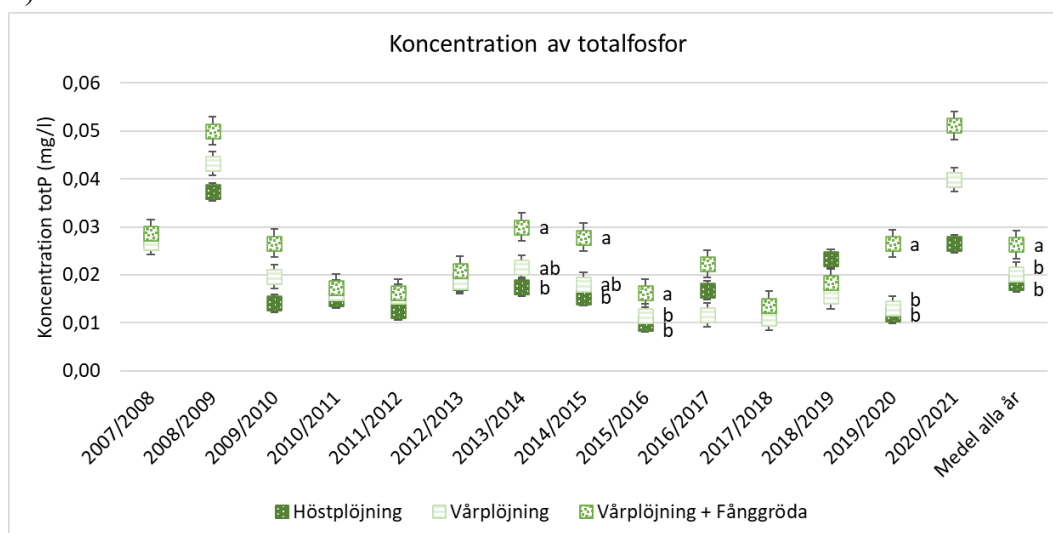
Vad beträffar den höga utlakningen 2019/2020 från ledet med vårplöjning och fånggröda tycks det dock inte finnas någon given förklaring. Eftersom utlakningen låg relativt jämn mellan övriga år och led är det inte troligt att skillnaden beror på varierande fosforhalter i marken eller förmåga att adsorbera fosfor, som exempelvis var fallet i ett försök av Aronsson et al. (2003a). Den totala årsnederbörden- och avrinningen var visserligen stor detta år (näst högst av alla år, figur 3), varför det är den mest troliga förklaringen. Samma parallell mellan utlakning och avrinning kan dock inte göras alla år. Vidare anges fånggrödan vara dåligt utvecklad detta år (bilaga 3), vilket möjligen kan ha påverkat genom att markytan inte varit täckt med vegetation och att de partikulära fosforförlusterna därigenom ökat (ex. Aronsson et al., 2019). Dock var ogräsmängden detta år stor (bilaga 3). Dessutom är fånggrödans utveckling inte dokumenterad varje år varför det är svårt att göra en jämförelse mellan åren och utifrån det dra en slutsats.

Ledmedelvärdena för koncentrationen i dräneringsvattnet låg någorlunda jämnt över tid, vanligen mellan 0,01 och 0,03 mg/l och år. År 2008/2009 och 2020/2021 utmärkte sig genom en högre koncentration (0,03–0,05 mg/l).

a)



b)

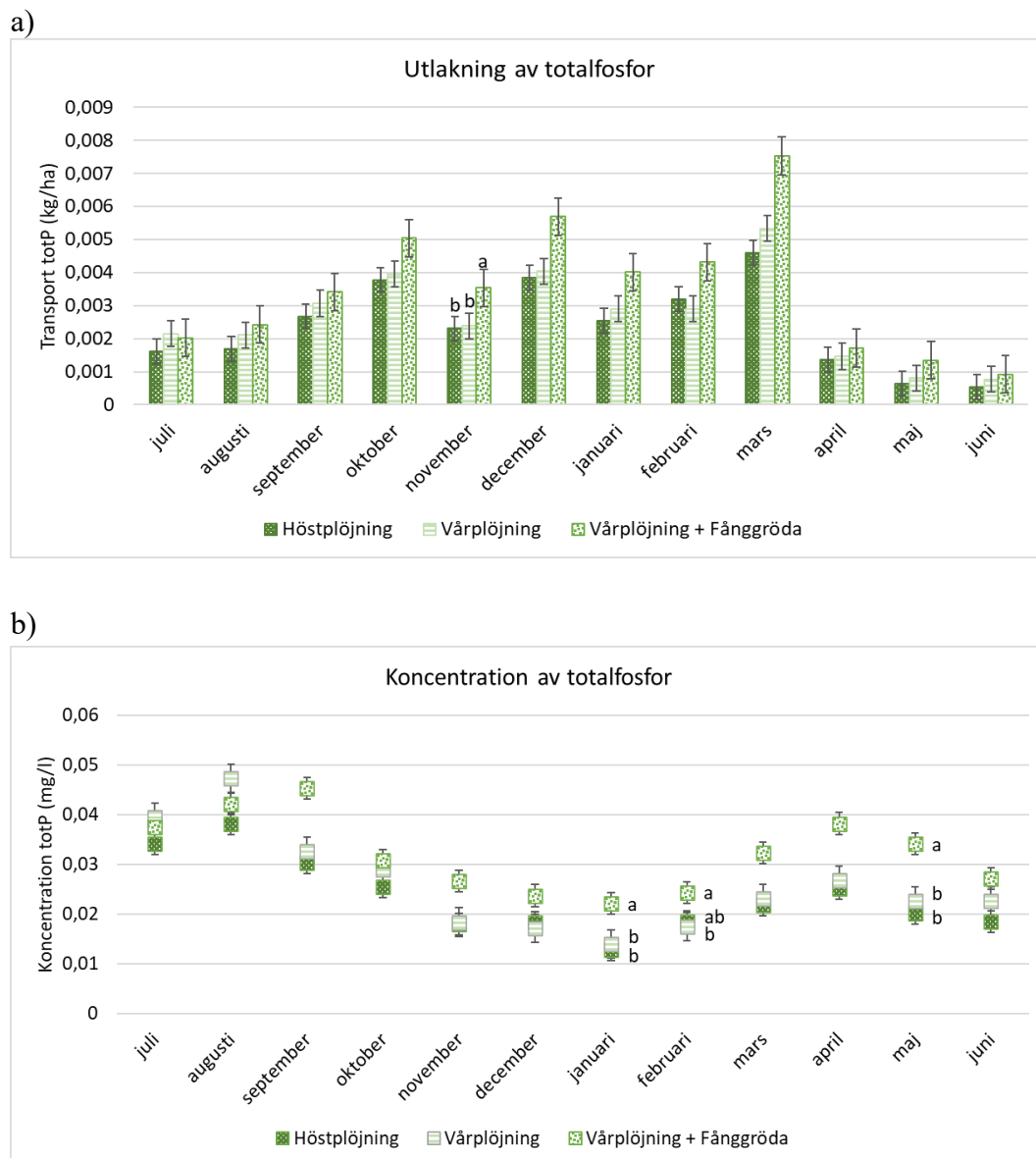


Figur 8. Årsmedel av a) utlakning (kg/ha) och b) koncentration (mg/l) av totalfosfor i dräneringsvattnet för de tre leden, höstplöjning, vårplöjning och vårplöjning + fånggröda. Dessutom visas medelvärdena för alla 14 försöksår. Årsmedel avser agrohydrologiskt år (1/7–30/6). Olika bokstäver betyder att det finns statistiskt signifikanta skillnader ($p < 0,05$). Felstaplarna visar standardfel.

3.3.2 Månadsvis – fosfor

Medelvärden av den månadsvisa utlakningen och koncentrationen av totalfosfor i dräneringsvattnet för de tre leden redovisas i figur 9. För nästan alla månader ökade utlakningen och koncentrationen av vårplöjning och ytterligare av vårplöjning i kombination med fånggröda. Koncentrationerna varierade mellan 0,01 och 0,03 mg/l och det fanns signifikanta skillnader mellan leden i januari, februari och maj. För utlakningen fanns signifikanta skillnader i november mellan ledet med höstplöjning och vårplöjning kombinerat med fånggröda respektive mellan vårplöjning och vårplöjning med fånggröda.

Sett till utlakningen var den som störst under de kallare månaderna, framför allt mars. I ledet med fånggröda kan den höga utlakningen bero på att grödorna utsatts för upprepad cyklisk frysning/upptining under dessa månader, vilket lett till ökade fosforförluster (ex. Bechmann et al., 2005 se Aronsson et al., 2016). Vidare uppvisade utlakningen ett mönster kopplat till avrinningsmängderna. Månader med hög avrinning gav högre utlakning. Exempelvis var avrinningen störst under december och mars (figur 4).



Figur 9. Medelvärden av månadsvis a) utlakning (kg/ha) och b) koncentration (mg/l) av totalfosfor i dräneringsvattnet för de tre leden, höstplöjning, vårplöjning och vårplöjning + fånggröda. Olika bokstäver betyder att det finns statistiskt signifikanta skillnader ($p < 0,05$). Felstaplarna visar standardfel.

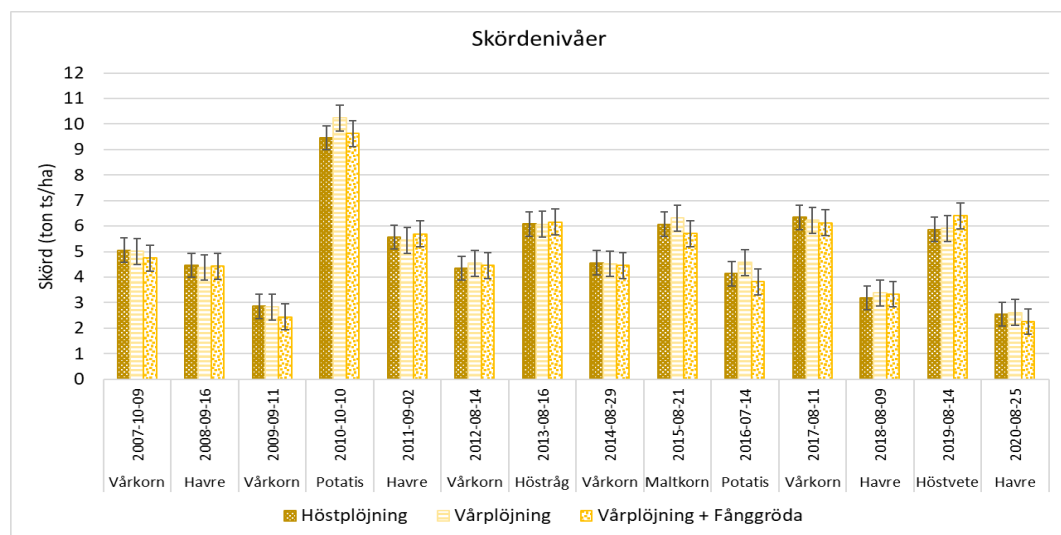
3.4 Avkastning

Skördenivåerna för de olika huvudgrödorna mellan försöksåren 2007–2020 för de tre leden visas i figur 10. Signifikanta ledskillnader erhöles inte något av åren. Det fanns dock ringa skördeskillnader mellan leden, men dessa bör betraktas som osäkra. Vårplöjning gav i medeltal 2 % mindre avkastning än höstplöjning, medan vårplöjning i kombination med fånggröda istället medförde en skördeökning på 2

% i genomsnitt. I jämförelse med skördar i länet var skördenivåerna på Fotegården de flesta år normala eller över snittet (bilaga 4).

Det är tänkbart att en viss konkurrens om markkvävet uppstod mellan rajgräset och huvudgrödan vissa år. Att rajgräset såddes mycket senare än huvudgrödan kan dock ha motverkat denna konkurrens. Andra år är det möjligt att nedbrukning av fånggrödan bidrog till mer växttillgängligt kväve till följd av ökad mineralisering (ex. Lindén et al., 1999). För att säkerställa om sådana var fallen hade fånggrödornas kväueupptag samt markens mineralkväve behövt sammanställas och jämföras. Emellertid hade det troligen varit svårt att särskilja dessa eventuella effekter eftersom fånggröda användes på samma rutor under hela försöksperioden.

Slutligen hade det varit intressant att även undersöka om huvudgrödornas kvalitet påverkades av de olika ledbehandlingarna, exempelvis sett till proteinhalt i stråsädens kärna.



Figur 10. Skördenivåer (kg ts/ha) för de olika grödorna och leden (höstplöjning, vårplöjning och vårplöjning + fånggröda). Datumen anger skördetidpunkt. Inga statistiskt signifikanta skillnader fanns mellan skördarna i de olika leden ($p < 0,05$). Felstaplarna visar standardfel.

3.5 Slutsatser

Sammanfattningsvis kan följande slutsatser dras:

- Senarelagd jordbearbetning från höst till vår och insådd fånggröda har under försöksperiodens 14 år effektivt minskat kväeutlakningen från mojorden vid Fotegården. Dessutom minskade kvävekoncentrationerna i dräneringsvattnet.
- Samma behandlingar som ovan gav dock upphov till förhöjd fosforutlakning, och fosforkoncentrationerna i dräneringsvattnet ökade.

- En bedömning kring lämpliga åtgärder som minskar näringsläckaget behöver emellertid göras i varje enskilt fall beroende på om det är kväve och/eller fosfor som behöver reduceras i de mottagande vattenmiljöerna.
- Varken senarelagd bearbetning eller fånggröda hade någon betydande effekt på skördenivåerna.

Referenser

- Andersson, A.K., Kumm, K.I. & Svanäng, K. (1987). *Minskat växtnäringsläckage och bättre lönsamhet*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för ekonomi och statistik.
- Aronsson, H., Berglund, K., Djodjic, F., Etana, A., Geranmayeh, P., Johnsson, H. & Wesström, I. (2019). *Effekter av åtgärder mot fosforförluster från jordbruksmark och åtgärdsutrymme*. (Ekohydrologi 160) Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Aronsson, H., Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Liu, J., Øgaard, A.F., Känkänen, H. & Ulén, B. (2016). The ability of cover crops to reduce nitrogen and phosphorus losses from arable land in southern Scandinavia and Finland. *Journal of Soil and Water Conservation*. 71(1), 41-55. <https://doi.org/10.2489/jswc.71.1.41>
- Aronsson, H., Norberg, L., Blomberg, M. & Torstensson, G. (2018). *Utlakningsförsök med vintergrön mark 1993-2017*. (Ekohydrologi 151). Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Aronsson, H., Stenberg, M. & Ulén, B. (2011). Leaching of N, P and glyphosate from two soils after herbicide treatment and incorporation of a ryegrass catch crop. *Soil Use and Management*. 27(1), 54-68. <https://doi.org/10.1111/j.14752743.2010.00311.x>
- Aronsson, H. & Torstensson, G. (1998). Measured and simulated availability and leaching of nitrogen associated with frequent use of catch crops. *Soil Use and Management*. 14(1), 6-13. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1998.tb00603.x>
- Aronsson, H. & Torstensson, G. (2009). *Långsiktiga effekter av flytgödsel och fånggrödor på växtnäringsdynamik i marken och utlakning*. Mellby försöksfält 1989-2009. (Ekohydrologi 114). Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Aronsson, H., Torstensson, G. & Lindén, B. (2003). *Långliggande utlakningsförsök på lätt jord i Halland och Västergötland. Effekter av flytgödseltillförsel, insådda fånggrödor och olika jordbearbetningstidpunkter på kvävedynamiken i marken och kväveutlakningen. Resultat från perioden 1998-2002*. (Ekohydrologi 74). Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2011). *Marklära*. Upplaga 1:6, Lund: Studentlitteratur.
- Fogelfors, H. (red.) (2015). *Vår mat – Odling av åker och trädgårdsgrödor. Biologi, förutsättningar och historia*. Upplaga 1:2, Lund: Studentlitteratur.
- Fölster, J., Kyllmar, K., Wallin, M. & Hellgren, S. (2012). *Kväve- och fosfortrender i jordbruksvattendrag – Har åtgärderna gett effekt?* (Rapport 2012:1). Uppsala: Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Gustafson, A. (1985). *Växtnäringsläckage och motåtgärder*. (Ekohydrologi 20). Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Hansen, E.M., & J. Djurhuus. (1997). Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil and Tillage Research*. 41(3-4), 203-219. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01097-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01097-5)
- Havs- och vattenmyndigheten (2019a). *Näringsbelastningen på Östersjön och*

- Västerhavet 2017*. (Havs- och vattenmyndighetens rapport 2019:20). Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.
- Havs- och vattenmyndigheten (2019b). *Jordbruk och läckage av nitrat till grundvatten – Naturliga processer, odlingssystem och risk för påverkan*. (Havs- och vattenmyndighetens rapport 2019:25). Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.
- Jordbruksverket (2019). Åtgärder för minskade växtnäringsförluster från jordbruket. [Broschyr]. Jönköping: Jordbruksverket.
<https://www2.jordbruksverket.se/download/18.643c21e416b9421f4f8a6b91/1561709797248/ovr125v3.pdf> [2022-03-10]
- Lindén, B., Engström, L., Aronsson, H., Hessel Tjell, K., Gustafson, A., Stenberg, M. & Rydberg, T. (1999). *Kvävemineralisering under olika årstider och utlakning på en mojord i Västergötland. Inverkan av jordbearbetningstidpunkter, flytgödseltillförsel och insådd fånggröda*. (Ekohydrologi 51). Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Lindgren, J., Stenberg, M. & Lindén, B. (2007). *Teknik för maximerat kväveutnyttjande och minimerad kväveutlakning i potatisodling*. (Rapport 8). Skara: Avdelningen för precisionsodling, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Norberg, L. & Aronsson, H. (2019). Effects of cover crops sown in autumn on N and P leaching. *Soil Use and Management*. 36(2), 200-211.
<https://doi.org/10.1111/sum.12565>
- Person, J. (2003). *Kväveförluster och kvävehushållning Förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk Kortsiktiga och långsiktiga markbiologiska processer med speciell hänsyn till kvävet*. (Rapport 207). Uppsala: Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för växtnäringslära, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Pixabay (u.å.). <https://pixabay.com/sv/vectors/sverige-karta-land-europa-23576/> [2022-05-21]
- Rundqvist, B. (1985). *Växtnäringsläckage till yt- och grundvatten från jord- och skogsbruk – Orsaker och åtgärder*. Solna: Naturresursavdelningen, Jord- och skogsbruksenheten, Statens naturvårdsverk.
- SCB Statistikdatabasen (u.å.). *Hektarskörd, kg per hektar efter region, gröda och år*.
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_JO_JO0601/Skor_darL2/table/tableViewLayout1/ [2022-05-08]
- SMHI (u.å.). *Lufttemperatur (dygn): Skara*.
<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airtemperatureMean24h,stations=all,stationid=83270>
 [2022-05-08]
- SMHI (u.å.). *Lufttemperatur (månad): Skara*.
<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airTemperatureMeanMonth,stations=all,stationid=83270>
 [2022-05-08]
- SMHI (u.å.). *Nederbörds mängd (dygn): Lidköping*.
<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=precipitation24HourSum,stations=all,stationid=83320>
 [2022-05-08]
- SMHI (u.å.). *Nederbörds mängd (månad): Lidköping*.

<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=precipitationMonthlySum,stations=all,stationid=83320>
[2022-05-08]

Stenberg, M., Aronsson, H., Lindén, B., Rydberg, T. & Gustafson, A. (1998). Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil and Tillage Research*. 50(2), 115-125.

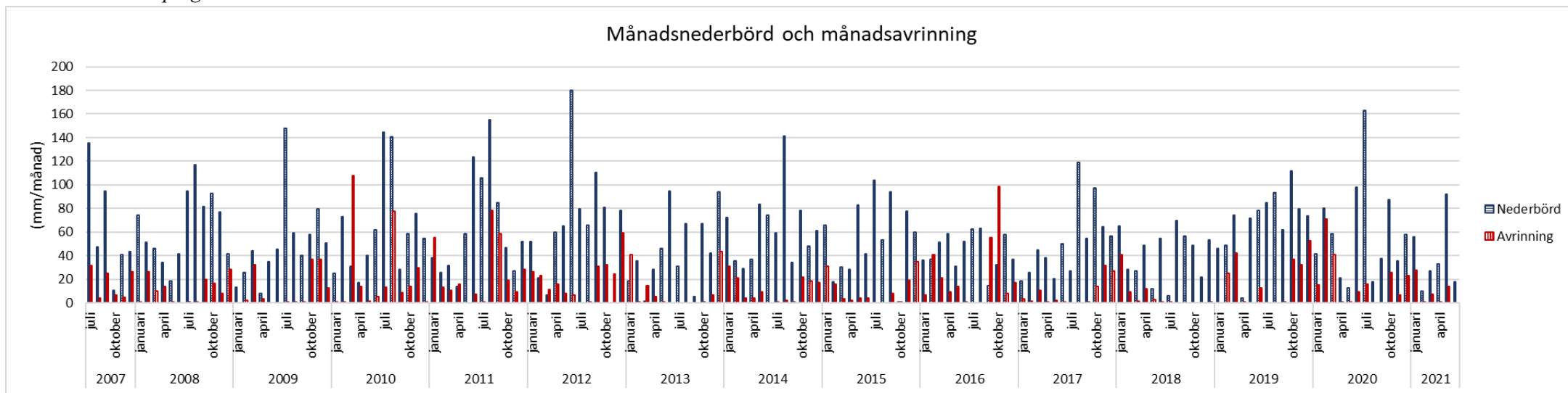
[https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00197-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00197-4)

Sveriges miljömål (2022). *Ingen övergödning*.

<https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/> [2022-03-10]

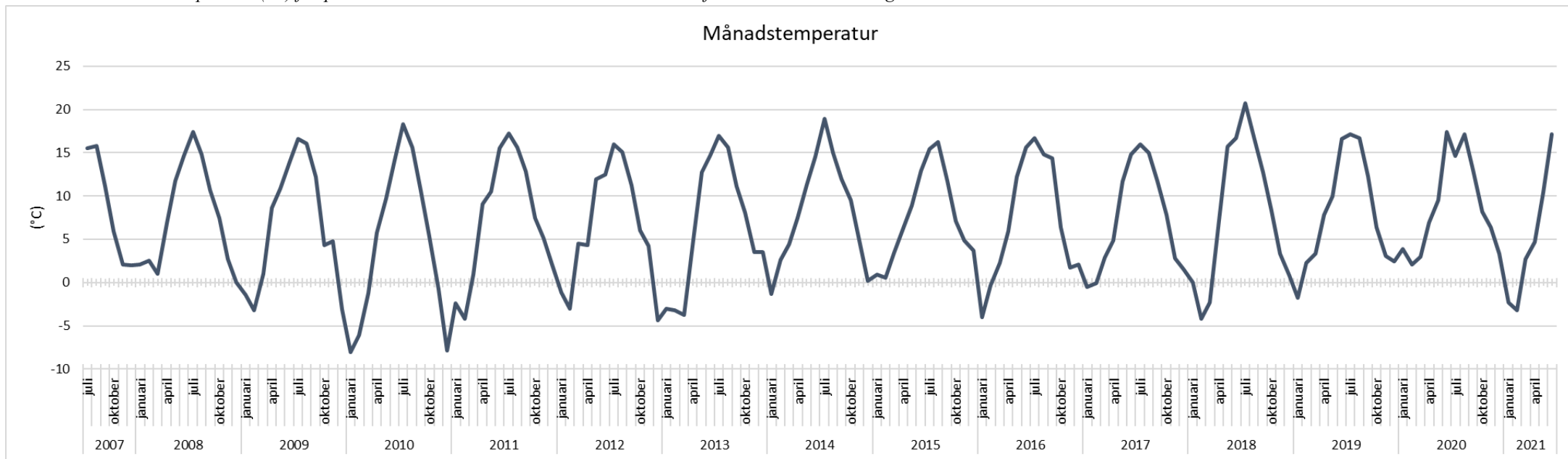
Bilaga 1

Månadsnederbörd- och avrinning (mm/månad) för perioden 1/7-2007–30/6-2021. Nederbördsdata är hämtad från SMHI:s meteorologiska station i Lidköping



Bilaga 2

Månadstemperatur (°C) för perioden 1/7-2007–30/6-2021. Datan är hämtad från SMHI:s meteorologiska station i Skara



Bilaga 3

Uppskattad marktäckning (%) av ogräs, gräs, höstgröda och spillsäd vid olika tillfällen för åren 2008–2020. Gräs avser de flesta fall fånggrödan. A, B och C avser de tre leden (A = höstplöjning; B = vårplöjning; C = vårplöjning + fånggröda)

	2008-09-16 (vid skörd)			2008-10-16 (höst, före bearb.)			2008-04-16 (vår, före bearb.)			2008-05-14 (före ogräsbek.)			2009-09-11 (vid skörd)			2010-10-01 (skörd)			2010-10-31 (sen höst)			2010-05-15 (vår)			2011-09-02 (skörd)			2011-10-27 (sen höst)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Ogräs (%)	5	2	2	22 1, 2	9 3, 4	5	15	0	5	3	4	10	10	17	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5 ⁴	5 ⁴	2 ⁴	15 ₄	15 ₄	10 ₄
Gräs (%)			9			27			47				30	37	67											3			10	
Höst- gröda (%)															95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95			
Spill- säd (%)															0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						

¹ Vitgröe

² Våtarv

³ Baldersbrå

⁴ Kvickrot

Bilaga 3 fortsätter på nästa sida.

	2011-05-03 (vår)			2012-11-22 (uppkomst)			2013-08-16 (skörd)			2013-10-11 (sen höst)			2013-04-16 (vår)			2014-08-29 (skörd)			2014-10-10 (sen höst)			2014-04-15 (uppkomst)			2015-08-21 (skörd)			2016-07-14 (skörd)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Ogräs (%)	1	1	1	1	1	1	3	3	1	10	10	5	1	2	2	6	6	6	21	14	21	1	1	1	30 ₄		20 ₄	2	2	11
Gräs (%)						1			1			80 ⁵			1			5												
Höst-gröda (%)	99	99	99	99	99	99	97	97	98				99	98	98	94	94	94				99	99	99						
Spillsäd (%)										5	5	5							3	2	2									

⁵ Fånggröda

	2016-10-07 (höst, före bearb.)			2016-03-23 (vår, före bearb.)			2017-08-11 (vid skörd)			2017-10-17 (höst, före bearb.)			2017-03-15 (vår, före bearb.)			2018-08-09 (vid skörd)			2019-08-15 (vid skörd)			2020-08-25 (vid skörd)			2020-11-25 (sen höst)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Ogräs (%)	90	90	5			5	2	2	2	8	8	7		10	5	0	0	0	18	13	6	31	6	36	4	7	4
Gräs (%)			85			20								8				11			2 ⁶					17	
Spillsäd (%)	0	0	0							16	16	17													23	13	22

⁶ Fånggrödan har kommit upp fint, men är späd och täcker inte

Bilaga 4

Hektarskördar i medeltal (kg/ha) i Västra Götalands län för grödorna i växtföljden på Fotegården för åren 2007–2021. Datan är hämtad från SCB:s statistikdatabas

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Vårkorn	4 330		4 620			4 420		4 720	6 450 ¹		5 280			
Havre		3 670			4 120							3 040		4 610
Matpotatis				29 150						33 540				
Höstråg							4 550							
Höstvete													6 990	

¹ Detta år odlades malkorn på Fotegården, men eftersom statistik för detta saknas i SCB:s statistikdatabas anges här data för vårkorn

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. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. 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.