



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Jordarbeiding og avrenning av glyfosat

Analyse av resultater fra Kjelle ruteforsøk

NIBIO RAPPORT | VOL. 7 | NR. 209 | 2021



Ole Martin Eklo og Marianne Stenrød

Divisjon for bioteknologi og plantehelse/Pesticider og naturstoffkjemi

TITTEL/TITLE

Jordarbeiding og avrenning av glyfosat - Analyse av resultater fra Kjelle ruteforsøk

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Ole Martin Eklo, Marianne Stenrød

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
22.12.2021	7/209/2021	Åpen	10705	17/01214
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02988-5	2464-1162	42	1	

OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Johan Kollerud/Nanna Bergan

STIKKORD/KEYWORDS:

Jordarbeiding, klima, erosjon, glyfosat,
suspendert stoff, fosfor, løst fosfat, nitrogen,
plantevernmidler, ruteforsøk

Soil tillage, climate, erosion, glyphosate,
suspended sediments, phosphorus, phosphate,
nitrogen, pesticides, runoff plots

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Erosjon og avrenning

Erosion and runoff

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Se side 5

See page 6

LAND/COUNTRY:

Norge/Norway

FYLKE/COUNTY:

Viken

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Ås

STED/LOKALITET:

GODKJENT /APPROVED



ARNE HERMANSEN

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



MARIANNE STENRØD



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Denne rapporten er en sammenstilling av data og analyse for å undersøke effekten av ulik jordarbeiding på kornarealer og avrenning av plantevernmidlet glyfosat samt sammenhenger mellom avrenning av glyfosat, partikler og næringsstoffer. Sammenstillingen er basert på data fra prosjektene «Klimatilpasning av jordbrukspraksis for redusert forurensning av plantevernmidler til overflatevann» og «Jordarbeidingseffekter ved lav erosjonsrisiko» finansiert av Landbruksdirektoratet. Disse prosjektene omfattet feltforsøk gjennomført i løpet av fire vekstsesonger i perioden 01.09.14 – 01.09.18 ved Kjelle videregående skole i Bjørkelangen. Etablering av forsøksarealene er beskrevet av Hauken m.fl. (2015).

Prosjektene har vært et samarbeid mellom Kjelle videregående skole, Norsk Landbruksrådgiving Øst og NIBIO og følgende personer har bidratt med å framskaffe rådataene som analyseres i denne rapporten:

- Thomas Sandbækbråten, Stig Helge Basnes, Kjelle videregående skole
- Jan Stabbetorp, Roger Kollstuen, Norsk Landbruksrådgiving Øst
- Geir Tveiti, Kjell Wærnhus, Marit Helgheim, Rikard Pedersen, Sigrun Kværnø, Marit Hauken, Marianne Bechmann og Ole Martin Eklo, NIBIO
- Marianne Bechmann har vært ansvarlig for forsøksopplegget

Disse rådataene er tidligere presentert i de årlige rapportene fra prosjektet Kjelle avrenningsforsøk; Bechmann m.fl. (2016; 2019; 2017) og Kværnø m. fl. (2017); som er tilgjengelig på nibio.no/kjelle.

Selve dataanalysen og diskusjonen av resultatene som presenteres i denne rapporten er utført av Ole Martin Eklo, Torfinn Torp og Marianne Stenrød.

Ås, 22.12.21

Ole Martin Eklo og Marianne Stenrød

Innhold

1	Innledning.....	7
2	Bakgrunnsmateriale og metoder.....	8
2.1	Forsøksplan.....	8
2.1.1	Forsøksfeltet	8
2.1.2	Klima.....	8
2.1.3	Jordarbeiding	10
2.1.4	Dyrkingspraksis	11
2.1.5	Prøvetaking	12
2.1.6	Kjemiske analyser.....	12
2.2	Målt avrenning fra dyrkingsarealet	13
2.2.1	Vann	13
2.2.2	Suspendert stoff (SS).....	15
2.2.3	Glyfosat	16
2.2.4	Total fosfor (TP).....	17
2.2.5	Løst ortofosfat (LP).....	18
2.3	Dataanalyse	19
2.3.1	Effekten av jordarbeiding på avrenning av løst glyfosat.....	19
2.3.2	Sammenhengen mellom avrenning av løst glyfosat og avrenning av vann, suspendert stoff, total fosfor og løst fosfat	20
3	Resultater	21
3.1	Effekten av jordarbeiding på avrenning av løst glyfosat	21
3.1.1	Overflateavrenning	21
3.1.2	Grøfteavrenning.....	24
3.2	Sammenhengen mellom avrenning av løst glyfosat og avrenning av vann, suspendert stoff, total fosfor og løst fosfat.....	27
3.2.1	Overflateavrenning	27
3.2.2	Grøfteavrenning.....	28
4	Diskusjon.....	32
4.1	Effekten av jordarbeiding på avrenning av glyfosat	32
4.1.1	Overflateavrenning	32
4.1.2	Grøfteavrenning.....	32
4.2	Sammenhengen mellom avrenning av løst glyfosat og avrenning av vann, suspendert stoff, fosfor og løst fosfat.....	33
4.2.1	Overflateavrenning	33
4.2.2	Grøfteavrenning.....	34
5	Konklusjon og avsluttende kommentarer	36
	Litteraturreferanser.....	37
	Vedlegg 1.....	43
	Resultatfigurer for regresjonsanalyse av sammenhengen mellom avrenning av løst glyfosat og avrenning av vann, suspendert stoff, total fosfor og løst fosfat	43

Sammendrag

Denne rapporten omfatter en analyse av avrenningsdata fra feltforsøk gjennom fire agrohydrologiske år (mai 2014- april 2018) ved Kjelle videregående skole. Analysen har sett på ulik jordarbeiding og effekten på avrenning av overflatevann og grøftevann med innhold av glyfosat, suspendert stoff, total fosfor og løst fosfat samt sammenhengen mellom konsentrasjonen av glyfosat og de andre målte stoffene. Forsøksanlegget har bestått av ni forsøksruter, hver på 8 x 50 m. Fra forsøksrutene ble det etablert et grøfte- og rennesystem for oppsamling av vann for måling av vannføring og vannprøvetaking. Forsøksfeltet ligger i svakt hellende terreng (2 %) og jorda er siltig mellomleire og klassifisert som Luvic Stagnosol og Epistagnic Albeluvisol. Tre typer jordarbeiding med tre gjentak for hver behandling ble sammenlignet i prosjektet som har vært: Høstpløying med vårkorn (havre), vårpløying med vårkorn (bygg) og høstpløying med høstkorn (hvete). Drensvann og overflatevann ble samlet fra hver av rutene og ble i gjennomsnitt analysert for glyfosat og aminometylfosfonsyre (AMPA), suspendert stoff, total fosfor og løst fosfat en gang pr. måned. Alle rutene har blitt sprøytet med glyfosat hver høst i tre år med unntak av fjerde året da rutene med vårpløying ble sprøytet på våren før pløying og såing.

Resultatene fra fire års forsøk med ulike jordarbeidingsstrategier viser signifikant mer overflateavrenning av glyfosat fra vårpløyd vårkorn og sprøyting på høsten (gjelder for to vekstsesonger). Forsøkene bekrefter det som kunne forventes at sprøyting av glyfosat i stubbåkeren som ligger eksponert hele høst/vinter/vår før jordarbeiding gir mest avrenning til overflatevann. Den statistiske analysen viste ingen forskjell mellom jordarbeidingsmetoder og avrenning av glyfosat til grøftevann.

Analysen av resultatene for overflateavrenning viste statistisk signifikant sammenheng mellom konsentrasjonen av glyfosat og mengde vann fra de høstpløyde rutene. I år med mye overflateavrenning vil det være risiko for høye konsentrasjoner av glyfosat fra åker med høstpløying. Dersom trenden med økt frekvens med styrtbyger fortsetter vil trolig risiko for høye konsentrasjoner av glyfosat øke. For grøftevannet var det en signifikant sammenheng mellom grøfteavrenning av løst glyfosat og løst fosfat i de høstpløyde rutene. Grøfteavrenning med mye løst fosfat vil være en indikasjon på høye konsentrasjoner av glyfosat for alle typer jordarbeiding.. Sammenhengen mellom glyfosat, fosfat og suspendert stoff for vårpløyde ruter kan tolkes som at vårpløying ikke bryter makroporene om høsten og derved gir økt partikkeltransport til grøftevannet.

Summary

This report includes an analysis of runoff data from four years of field trials (May 2014-April 2018) at Kjelle videregående skole. The analysis looked at different tillage systems and the effect on runoff of surface water and ditch water with content of glyphosate, suspended matter, total phosphorus and dissolved phosphate as well as the connection between runoff of glyphosate and the other measured substances. The test facility consisted of nine test areas (8 x 50 m). From the test areas, a system for collecting water was established for measuring water flow and sampling surface and drainage water. The experimental fields were located in a relatively flat area with 2 % slope. The soil is silty clay and classified as Luvic Stagnosol and Epistagnic Albeluvisol. Three types of tillage with three replicates for each treatment were compared in the project. The soil management had been: Autumn plowing with spring cereals (oats), spring plowing with spring cereals (barley), and autumn plowing with winter wheat. Drainage water and surface water were collected from each field and analyzed for glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA), suspended solids, total phosphorus and dissolved phosphate approximately once a month. Glyphosate was applied to all fields every autumn for 3 years except the last year, where the spring plowed squares were applied in spring before plowing and sowing.

The results from four years of experiments with different tillage strategies show significantly more surface run-off of glyphosate from spring-plowed spring cereals and application of glyphosate in the autumn (two growing seasons). The experiments confirm what could be expected that spraying glyphosate in the stubble field, which is exposed throughout the autumn / winter / spring before tillage, gives the most runoff to surface water. The statistical analysis showed no difference between tillage regimes and run-off of glyphosate to drainage water.

Analysis of data for surface runoff showed a statistically significant relationship between the concentration of glyphosate and the amount of water from the autumn plowed plots. When we see a continued trend of increased frequency of events with high amount of precipitation, the risk of runoff events with of high concentrations of glyphosate will increase.

In years with a lot of surface runoff, there will be a risk of high concentrations of glyphosate from fields with autumn plowing. For the drainage water, there was a significant connection between drainage of glyphosate and dissolved phosphate in the autumn-plowed plots. Drainage runoff with a lot of dissolved phosphate will be an indication of high concentrations of glyphosate for all types of tillage. The connection between glyphosate, phosphate and suspended matter from the spring plowed plots can be an indication that with spring plowing there will be no autumn tillage to cut the macropores in the autumn and thereby there will be an increased transport of suspended particles in the macropores to the drainage water.

1 Innledning

Glyfosat er et hyppig brukt ugrasmiddel i konvensjonelt jordbruk og særlig til sprøyting i stubb etter høsting av kulturen når man dyrker med redusert/plogfri eller utsatt jordarbeiding (dvs. pløyer om våren fremfor høsten), og det foreligger flere større litteraturgjennomganger som viser en risiko for avrenning av glyfosat fra jord til vann (bl.a. Saunders & Pezeshki, 2015; Borggaard m. fl., 2008; Vereecken, 2005). Resultater fra program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) som ble etablert i 1992, viser en økning i bruk av glyfosat gjennom perioden 1992-2019 i de to korndominerte nedbørfeltene som er inkludert i overvåkingen (Bechmann m. fl. 2021). Tilsvarende viser analyseresultater for forekomst av glyfosat i bekkevann i disse nedbørfeltene en høyere gjennomsnittlig påvist konsentrasjon i perioden 2016-2018 sammenliknet med perioden 1997-2001, da det ble analysert for dette midlet. Analyseresultatene fra JOVA-programmet viser at glyfosat påvises i bekkevann gjennom hele året når det inngår i vanlig plantevernpraksis innenfor et nedbørfelt. Funnkonsentrasjonene er imidlertid svært lave sett i forhold til vår kunnskap om giftigheten av stoffet i vannmiljø.

På grunn av at glyfosat bindes relativt sterkt til jord blir risiko for utlekking til grunnvann angitt som lav (PPDB., 2015). Likevel viser undersøkelser at glyfosat transporteres nedover i jordprofilen. Midlet er påvist i overflatenært grunnvann i enkelte tilfeller i konsentrasjoner over grenseverdien for drikkevann (0,1 µg/L) (Eklo m. fl., 2019), men dette er gjennom undersøkelser av begrenset omfang. Programmet for å vurdere risiko for utlekking av plantevernmidler til grunnvann som gjennomføres i Danmark (PLAP) viser en risiko for utlekking av glyfosat til grunnvann ved episoder med mye nedbør eller i snøsmeltingsperioder, men konkluderer for overvåkingsperioden 1999-2019 med at glyfosat ikke utgjør noen konstant trussel mot grunnvannskvalitet (Rosenbom m. fl. 2021).

I de senere år har imidlertid mulige side-effekter ved bruken av glyfosat blitt diskutert og det internasjonale byrået for kreftforskning (IARC), underlagt verdens helseorganisasjon (WHO), vurderte at glyfosat trolig er kreftfremkallende. Organer i EU (EFSA, det europeiske 'Mattilsynet', og ECHA, det europeiske kjemikaliebyrået) konkluderte imidlertid med at glyfosat ikke klassifiseres som kreftfremkallende og glyfosat har pr i dag godkjenning i EU og Norge til 2022 (Mattilsynet, 2018). Det arbeides med å finne gode alternativer til glyfosat i ugrasbekjemping og mer informasjon om bruken av glyfosat i norsk jordbruk, og mulige alternativer, finnes i Tørresen m.fl. (2018).

Hyppige funn av glyfosat i bekkevann i JOVA-overvåkingen i Norge og et generelt stort fokus på dette plantevernmidlet internasjonalt er grunnlaget for de detaljerte undersøkelsene av transportprosesser for midlet i ruteforsøk med ulik jordarbeiding gjennomført på Kjelle videregående skole i perioden 2015-2018. Overvåkingen i JOVA-programmet gir indikasjoner på hvilke gjennomsnittlige konsentrasjonsnivåer som opptrer i bekkevann ved bruk av glyfosat, men disse dataene gir ikke informasjon om hvilke transportprosesser som er dominerende eller hvilke maksimale konsentrasjonsnivåer som kan forekomme over kortere tidsperioder og som potensielt kan ha akutte negative effekter i vannmiljø. På forsøksarealene ved Kjelle videregående skole ble det målt avrenning av glyfosat og fosfat til overflatevann og drensvann ved ulik jordarbeiding på arealer med relativt liten helling (2 %). Hensikten med sammenstillingen presentert her var å se om ulik jordarbeiding har effekt på konsentrasjonsnivåer for glyfosat i avrenning, og om forsøkene støtter hypotesen om at det er korrelasjon mellom avrenning av glyfosat og fosfat til drensvann og overflatevann.

På grunn av en del like fysiokjemiske egenskaper av glyfosat og fosfat vil det være hensiktsmessig å ha kunnskap om sammenhengen mellom konsentrasjonsnivåene av de to forbindelsene i avrenningsvann med tanke på iverksetting av tiltak for å redusere avrenningen. Egenskapene til de kjemiske forbindelsene, klima, jordegenskaper og dyrkingsstrategier påvirker transport og avrenning av glyfosat og fosfat. I denne sammenstillingen er det spesielt undersøkt dyrkingsstrategier i form av jordarbeiding og effekten på avrenning til overflatevann og drensvann.

2 Bakgrunnsmateriale og metoder

Materialet som er brukt i rapporten er data fra feltforsøkene på Kjelle videregående skole i Bjørkelangen (Aurskog-Høland, Viken). Fysisk kjemiske data for overflatevann og drensvann er samlet inn over fire avrenningssesonger i perioden mai 2014-april 2018 og detaljert beskrevet i årlige NIBIO-rapporter (Bechmann m. fl., 2016; Bechmann m. fl., 2019; Bechmann m. fl., 2017; Hauken m. fl., 2015; Kværnø m. fl., 2017).

2.1 Forsøksplan

Forsøksplanen omhandler en oppsummering og en beskrivelse av forsøksfeltet, klima, forsøksdesign, dyrkingsstrategi og prøvetaking.

2.1.1 Forsøksfeltet



Figur 1. Forsøksfelt ved Kjelle videregående skole anlagt i 2014. Feltet har ni forsøksruter med separat oppsamling av overflate- drensavrenning. (Foto: Eklo, NIBIO)

Forsøksanlegget på Kjelle videregående skole ble etablert i 2014. Forsøksanlegget (Figur 1) består av ni forsøksruter, hver på 8 x 50 m. Fra forsøksrutene er det etablert et grøfte- og rennesystem for oppsamling av vann. Vannet fra rutene føres til en målehytte med utstyr for måling av vannføring og vannprøvetaking. Forsøksfeltet har svak helling (2 %). Jorda er siltig mellomleire og klassifisert som Luvic Stagnosol og Epistagnic Albeluvisol i henhold til World Reference Base (WRB). Arealene ble grøftet i 2013 med 8m grøfteavstand og på 80 – 100 cm dybde. Feltet og etableringen av feltet er beskrevet i detalj av Hauken m. fl. (2015).

2.1.2 Klima

En egen klimastasjon med automatisk innsamling av værdata ble etablert på forsøksarealet. Luftfuktighet, temperatur, nedbør, stråling, vindhastighet og retning samt webkamera styrt av en innstrålingssensor på værstasjonen (Figur 2).

Forsøksarealene ligger i en klimasone med årsmiddel normalnedbør på 702 mm og årsmiddel normal temperatur på 3,3 °C. Temperaturen for alle forsøksårene var relativt like, men var høyere enn normalen (Tabell 1). Nedbøren de to første årene var høyere enn normalen, men lavere for de to siste årene.



Figur 2. Klimastasjon med solcellepanel og webkamera med utstyr for temperatur, nedbør, luftfuktighet og vind innstråling. (Foto: Eklo, NIBIO)

Tabell 1. Nedbør og lufttemperatur målt på stasjonen på Kjelle, i de fire forsøksperiodene, samt normalperioden (1961 – 1990). Tall merket med * er fra stasjonen Haneborg/Aurskog II (Tabell hentet fra Bechmann m. fl., 2019).

Måned	Normal* Nedbør	14-15	15-16	16-17	17-18	Normal* Temp	14-15	15-16	16-17	17-18
Sep	75	35*	169	30	70	8,7	10,8*	10,8	13,7	11
Okt	77	158*	10	24	100	4,9	8,3*	5,6	4,5	5,8
Nov	71	87*	62	61	94	-1,6	3,4*	2,5	-0,2	-0,1
Des	52	56	54	29	56	-6,7	-3,7	1,0	-0,7	-3
Jan	43	104	47	49	80	-7,9	-1,4	-8,8	-2,7	-2,9
Feb	44	29	52	60	21	-7,6	-1,1	-2,9	-2,7	-5,5
Mar	39	47	56	67	11	-3,6	1,9	1,4	1,5	-5,1
Apr	48	13	101	34	52	2,3	5,1	4,4	3,6	4,2
Mai	47	119	31	59	26	9,1	7,8	11,2	10,4	14,7
Jun	56	61	37	64	47	13,3	12,8	15,2	13,8	16,3
Jul	70	75	79	46	30	15,2	14,8	15,9	15	20,4
Aug	80	52	126	79	42	13,7	14,7	14,1	14,1	14,8
Sum, middel	702	836	823	600	627	3,3	6,2	5,9	5,9	5,9

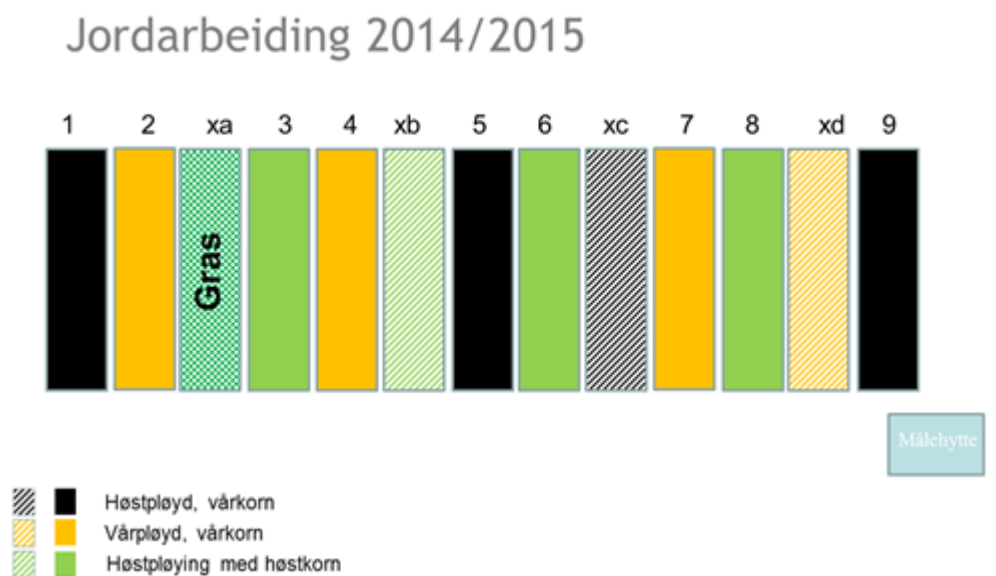
2.1.3 Jordarbeiding

Tre typer jordarbeiding (Figur 3) med tre gjentak for hver behandling ble sammenlignet i prosjektet:

- Høstpløying med vårkorn (havre) (HPVK)
- Vårpløying med vårkorn (bygg) (VPVK)
- Høstpløying med høstkorn (hvete) (HPHK).

Jordarbeidings-systemene inngår i en rotasjon, slik at behandlingene blir prøvd ut på ulike ruter hvert år i en syklus.

Resultatene fra fire års dyrkingspraksis er brukt i denne undersøkelsen.



Figur 3. Oversikt over plan for jordarbeiding på forsøksrutene i 2014/2015 (Figur hentet fra Bechmann m. fl., 2015).

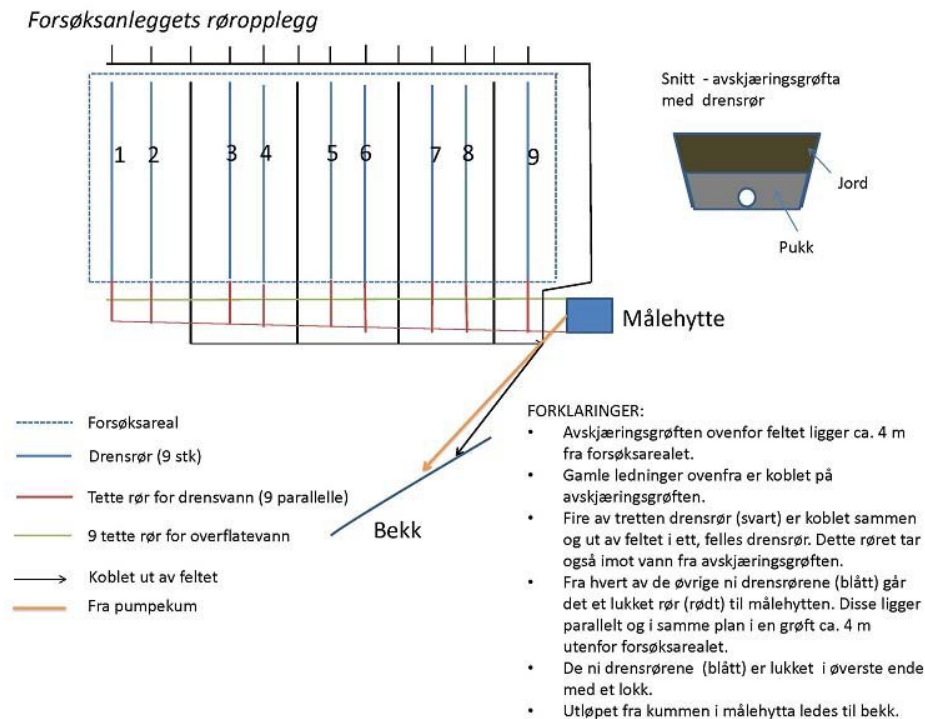
2.1.4 Dyrkingspraksis

Tabell 2. Oversikt over dyrkingspraksis i perioden 2014-2018 (Tabell hentet fra Bechmann m. fl., 2019).

Forsøks-ledd	Pløye-dato; harvedato	Korn-slag	Sådato	Gjødsling (kg/daa)	Sprøyting	Høste-dato	Avling (kg/daa)
Høstpløyd HPVK	2.9.14	Havre	15.5.15	N: 11; P: 0,8 15.mai 15	Glyfosat 25.09.14	8.9.15	368
Vårpløyd VPVK	9.5.15	Bygg	15.5.15	N: 11; P: 0,8 15.mai 15	Glyfosat 25.09.14	29.8.15	264
Høstkorn HPHK	2.9.14	Høst-hvete	10.9.14	N: 13; P: 0,5	Glyfosat 25.09.14	8.9.15	732
Høstpløyd HPVK	13.10.15; 07.05.16	Havre	11.05.16	N: 11; P: 0,7 11.05.16	Glyfosat 30.09.15	31.08.16	529
Vårpløyd VPVK	28.04.16; 07.05.16	Bygg	11.05.16	N: 11; P: 0,7 11.05.16	Glyfosat 30.09.15	31.08.16	600
Høstkorn HPHK	12.09.15; 02.10.15	Høst-hvete	04.10.15	N: 11; P: 0,4 21.04.16 13.06.16 22.06.16	Glyfosat 10.09.15	31.08.16	468
Høstpløyd HPVK	10.10.16; 05.05.17	Havre	06.05.17	N: 11; P: 0,7 06.05.17	Glyfosat 02.09.16	30.08.17	595
Vårpløyd VPVK	04.05.17; 05.05.17	Bygg	06.05.17	N: 11; P: 0,7 06.05.17	Glyfosat 02.09.16	30.08.17	498
Høstkorn HPHK	06.09.16; 08.09.16	Høst-hvete	10.09.16	N: 16; P: 0,6 07.04.17 01.06.17 23.06.17	Glyfosat 02.09.16	30.08.17	784
Høstpløyd HPVK	16.10.17; 14.05.18	Havre	15.05.18	N: 11; P: 0,7 15.05.18	Glyfosat 08.08.17	17.08.18	194
Vårpløyd VPVK	13.05.18; 14.05.18	Bygg	15.05.18	N: 11; P: 0,7 15.05.18	Glyfosat 30.04.18	17.08.18	168
Høstkorn HPHK	22.09.17; 22.09.17	Høst-hvete	26.09.17	N: 21; P: 0,6 3.5.18 21.6.18	Glyfosat 05.09.17	17.08.18	185

Jordarbeiding såing, gjødsling og tresking ble gjennomført av ansatte ved Kjelle videregående skole med skolens vanlige maskiner og redskap (Tabell 2). Avlingsregistrering ble gjort av Norsk Landbruksrådgiving (NLR) Øst. Sprøyting ble utført av NIBIO med NOR sprøyte spesielt konstruert for forsøksarealer. Høstsprøyting med glyfosat ble høsten 2015 og 2017 gjennomført i to omganger. I 2018 ble rutene med vårpløyd vårkorn sprøytet med glyfosat om våren før jordarbeiding og såing av kornet.

2.1.5 Prøvetaking



Figur 4. Skisse over røropplegget for forsøksfeltet (Figur hentet fra Hauken m. fl., 2015).

Drensvann og overflatevann ble samlet fra hver av rutene (Figur 4) med vannproposjonal vannprøvetaking ved hjelp av vippekar (Figur 5). Vannvolum ble beregnet ut fra antall vipp registrert med logger.

2.1.6 Kjemiske analyser

Vannprøvene ble i gjennomsnitt en gang pr. måned analysert for glyfosat og aminometylfosfonsyre (AMPA), suspendert stoff (SS), total fosfor (TP) og løst fosfat (LP). Analyser for glyfosat og AMPA ble utført av NIBIO, Avdeling Pesticider og naturstoffkjemi. Suspendert stoff, total fosfor og løst fosfat ble analysert av Eurofins, Moss.



Figur 5. Målehytte med vippekar for vannprøvetaking av drensvann og overflatevann (Foto: Eklo, NIBIO).

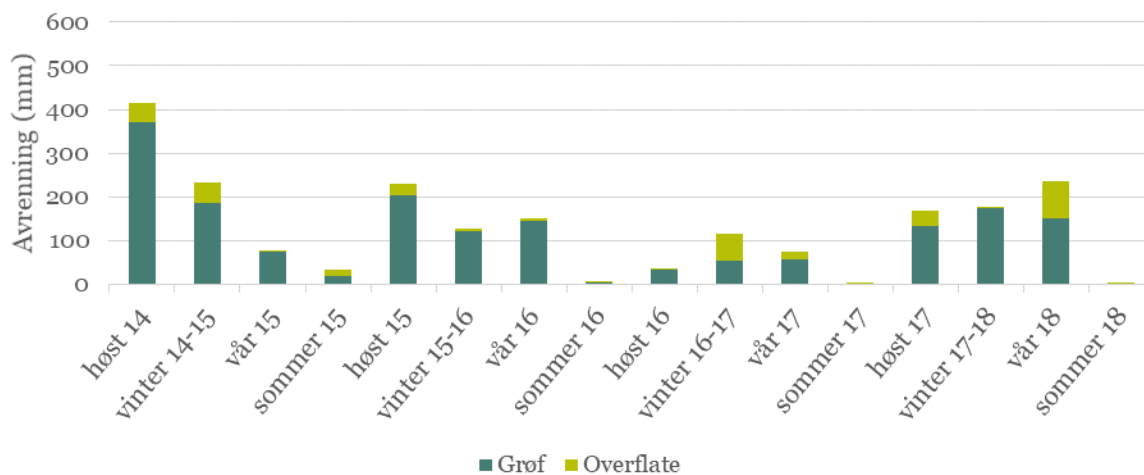
2.2 Målt avrenning fra dyrkingsarealet

Sammendrag av data for avrenning av vann, suspendert stoff, glyfosat, total fosfor og løst fosfat fra feltforsøkene er sammenstilt i dette kapitlet.

2.2.1 Vann

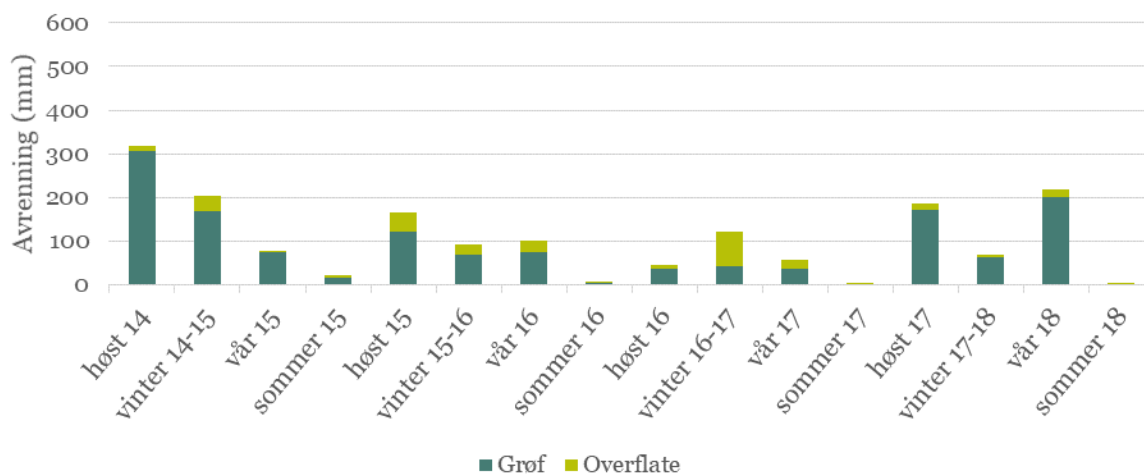
Målt avrenning av drensvann og overflatevann fra de ni forsøksrutene er sammenstilt for ulike årstider (høst, vinter, vår, sommer) for forsøksårene 2014-2018. Resultatene er presentert separat for de ulike jordarbeidingene i figurene under, med høstpløyd vårkorn (HPVK; n=3 ruter) i Figur 6, vårpløyd vårkorn (VPVK; n=3 ruter) i Figur 7 og høstpløyd høstkorn (HPHK; n=3 ruter) i Figur 8.

Høstpløying med vårkorn, årstid



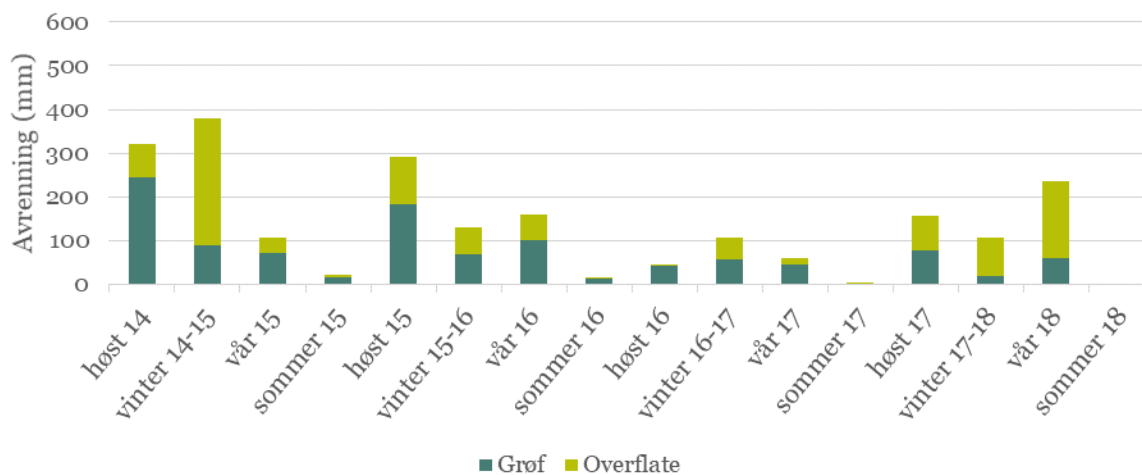
Figur 6. Mengde avrenning (angitt som mm) av grøftevann og overflatevann fra høstpløyd vårkorn (HPVK) for hele forsøksperioden (2014-2018). (Figur hentet fra Bechmann m. fl., 2019).

Vårpløying, årstid



Figur 7. Mengde avrenning (angitt som mm) av grøftevann og overflatevann fra høstpløyd vårkorn (VPVK) for hele forsøksperioden (2014-2018) (Figur hentet fra Bechmann m. fl., 2019).

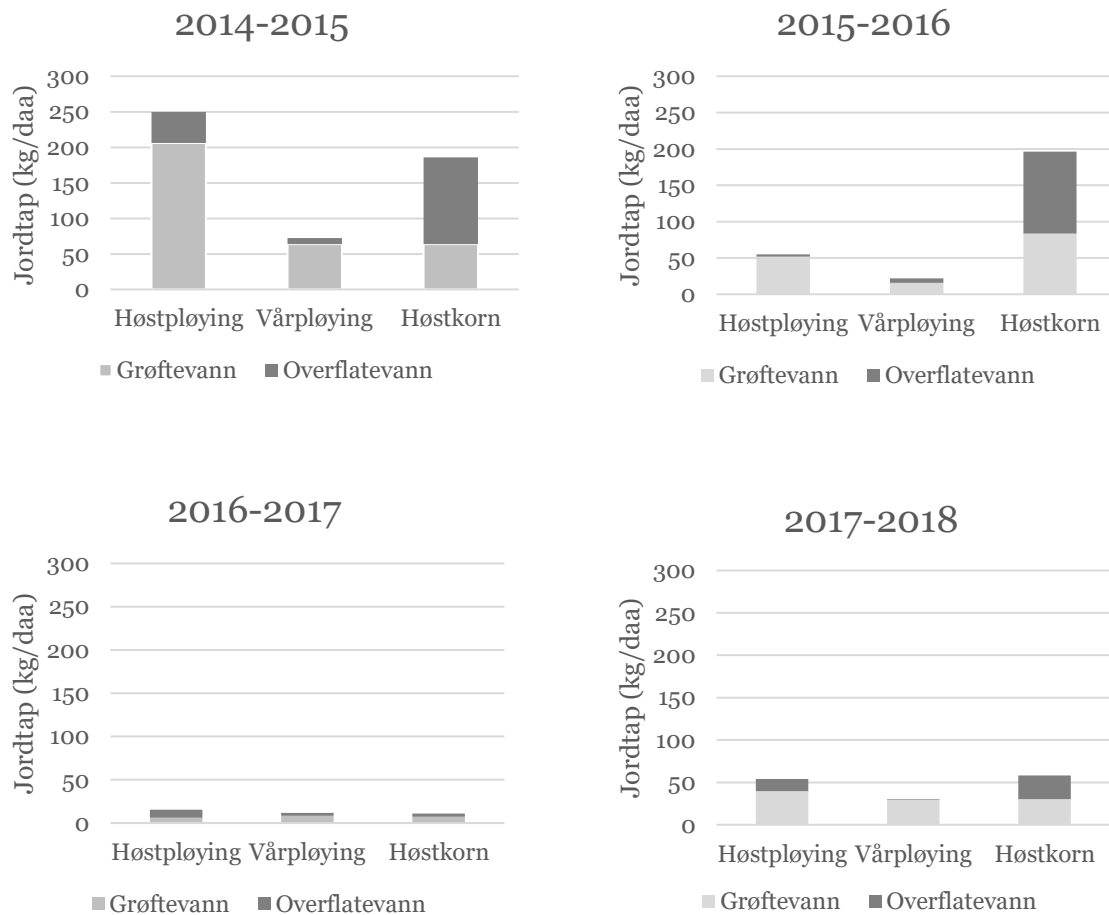
Høstpløying med høstkorn, årstid



Figur 8. Mengde avrenning (angitt som mm) av grøftevann og overflatevann fra høstpløyd vårkorn (HPHK) for hele forsøksperioden (2014-2018) (Figur hentet fra Bechmann m. fl., 2019).

2.2.2 Suspensert stoff (SS)

Målte konsentrasjoner av suspendert stoff i dremsavrenning (grøftevann) og overflateavrenning fra de 9 forsøksrutene er sammenstilt som jordtap (kg/daa) for de tre jordarbeidingene høstpløyd vårkorn (høstpløying), vårløyd vårkorn (vårpløying) og høstpløyd høstkorn (høstkorn). Figur 9 viser resultatene samlet for hvert av de fire forsøksårene (inndelingen følger agrohydrologisk år fra 1. mai til 30. april påfølgende år).

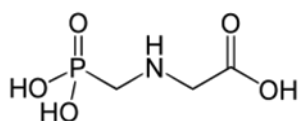


Figur 9. Jordtap beregnet ut fra avrenning av suspendert stoff (SS) i grøftevann og overflatevann for ulike jordarbeiding for hele forsøksperioden (2014-2018) (Figur hentet fra Bechmann m. fl., 2019).

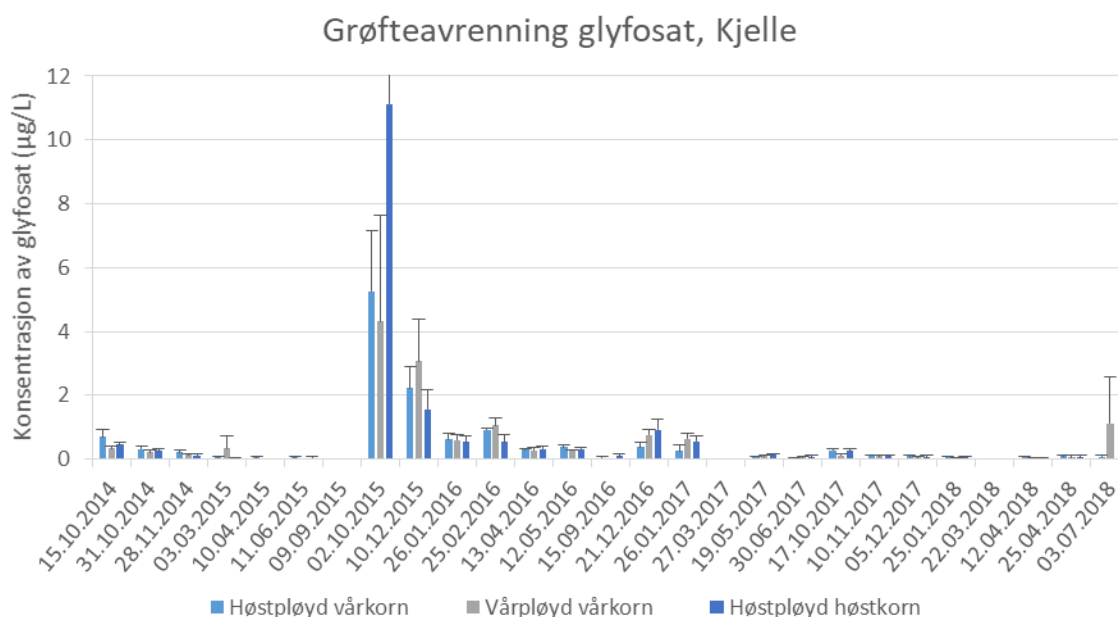
2.2.3 Glyfosat

Konsentrasjon av ugrasmidlet glyfosat (Figur 10) ble analysert av NIBIO for alle avrenningsprøver der det var tilstrekkelig mengde med grøftevann (Figur 11) og overflatevann (Figur 12) gjennom forsøksperioden 2014-2018. Analysemetoden gir mengde løst glyfosat i vannprøven. Resultatene er presentert separat for hver jordarbeiding for de ulike prøvetakingsdatoene ($n \leq 3$).

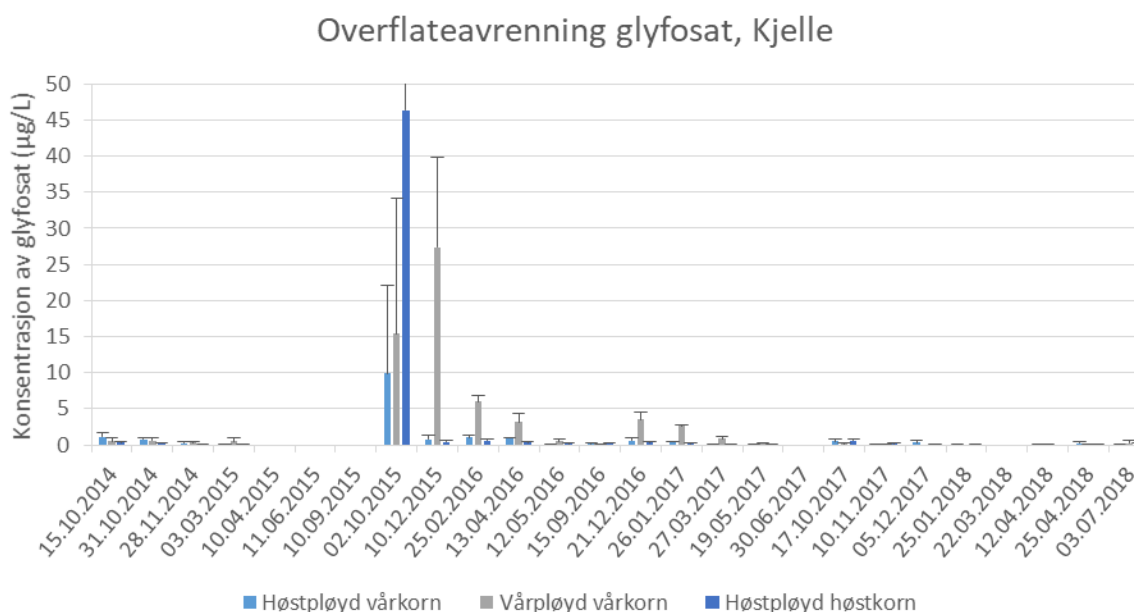
Enkelte perioder for oppsamling av prøver var svært lange. Dette kan gå utover bestemmelsene av glyfosat ved at midlet kan brytes ned i prøvetakingsbeholderen over tid og gi lavere målte konsentrasjoner enn reell konsentrasjon ved avrenning, eller deler av prøven kan fordampe i beholderen og derved gi høyere konsentrasjon enn reelt ved avrenning.



Figur 10. Molekylstruktur til glyfosat.



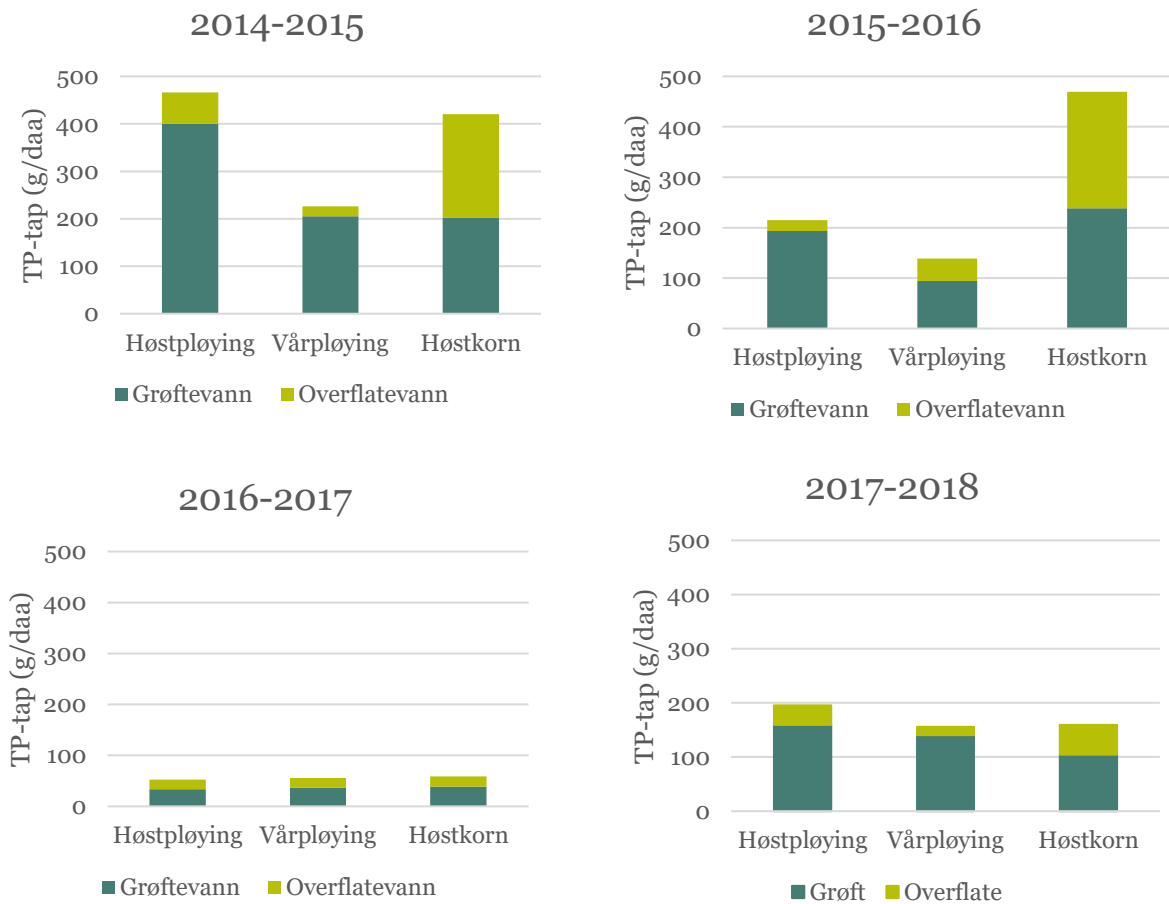
Figur 11. Glyfosatkonsentrasjoner i grøfteavrenning fra hele prosjektperioden vist for de ulike jordarbeidingsregimene. n≤3 avhengig av tilgjengelig vann for prøvetakingen og analyse. (Figur hentet fra Bechmann m. fl., 2019).



Figur 12. Glyfosatkonsentrasjoner i overflateavrenning fra hele prosjektperioden vist for de ulike jordarbeidingsregimene. n≤3 avhengig av tilgjengelig vann for prøvetakingen og analyse. (Figur hentet fra Bechmann m. fl., 2019).

2.2.4 Total fosfor (TP)

Mengde total fosfor er beregnet som sum total fosfor i vannfasen og knyttet til partikulært materiale. Resultatene er sammenstilt for de tre jordarbeidingsregimene høstpløyd vårkorn (høstpløying), vårpløyd vårkorn (vårpløying) og høstpløyd høstkorn (høstkorn). Figur 13 viser resultatene samlet for hvert av de fire forsøksårene.



Figur 13. Tap av total fosfor (TP) beregnet ut fra konsentrasjoner av fosfor i vannfasen og bundet til partikler, målt i i grøfte- og overflateavrenning fra ulike jordarbeidinger for forsøksperioden 2014-2018. (Figur hentet fra Bechmann m. fl., 2019).

2.2.5 Løst ortofosfat (LP)

Resultatene er sammenstilt for de tre jordarbeidinger høstpløyd vårkorn (høstpløying), vårpløyd vårkorn (vårpløying) og høstpløyd høstkorn (høstkorn). Figur 14 viser resultatene samlet for hvert av de fire forsøksårene.



Figur 14. Tap av løst ortofosfat (LP) beregnet ut fra konsentrasjoner målt i grøfte- og overflateavrenning fra ulike jordarbeiding for forsøksperioden 2014-2018 (Bechmann m. fl., 2019).

2.3 Dataanalyse

Statistiske analyser av datamaterialet ble gjennomført i Minitab 18 ver. 18.1 og Minitab 19.2.

2.3.1 Effekten av jordarbeiding på avrenning av løst glyfosat

Effekten av jordarbeiding på konsentrasjonen av glyfosat i grøftevann og overflatevann ble undersøkt med utgangspunkt i en modell for å estimere forløpet av glyfosatavrenning som funksjon av tiden etter sprøyting og jordarbeiding:

$$E[y_{ij}(t) | R_j] = e^{\mu + \gamma_i + \delta \cdot t + \delta_i \cdot t + R_j} \quad (1)$$

der $E[y_{ij}(t) | R_j]$ er forventningen til glyfosat, $y_{ij}(t)$ gitt R_j , med jordarbeiding i fra rute j som funksjon av tiden t . R_j er tilfeldig effekt av rute j . R_j -ene antas å være uavhengige og normalfordelte tilfeldige variabler med forventning 0 og varians σ_R^2 . μ , γ_i -ene, δ , δ_i -ene og σ_R^2 er ukjente parametere som estimeres ved hjelp av dataene.

Ved å sette R_j lik sin forventede verdi, 0, i (1) får vi

$$\mu_{ij}(t) = E(y_{ij}(t) | R_j = 0) = e^{\mu + \gamma_i} \cdot e^{\delta \cdot t + \delta_i \cdot t} = \alpha_i \cdot e^{\beta_i \cdot t} \quad (2)$$

Vi kaller uttrykket i (2) forventningsfunksjonen til $y_{ij}(t)$ og den kan estimeres ved

$$\hat{\mu}_{ij}(t) = \hat{\alpha}_i \cdot e^{\hat{\beta}_i \cdot t} \quad (3)$$

der

$$\hat{\alpha}_i = e^{\hat{\mu} + \hat{\gamma}_i} \quad \text{og} \quad \hat{\beta}_i = \hat{\delta} + \hat{\delta}_i \quad (4)$$

$\hat{\mu}$, $\hat{\gamma}_i$, $\hat{\delta}$ og $\hat{\delta}_i$ er estimater for henholdsvis μ , γ_i , δ og δ_i fra tilpasning av modellen i (1) til dataene.

I observasjoner der glyfosat er registrert som 0 ($n=3$) er disse målingene tatt ut av analysen, slik at kun analyseverdier over bestemmelsesgrensen for analysen er med i estimeringen av modellen i (1).

I figurene 15-22 er funksjonen i (3) framstilt for de tre jordarbeidingene, sammen med gjennomsnittet av målt glyfosatkonsentrasjon for hver jordarbeiding og hvert tidspunkt.

2.3.2 Sammenhengen mellom avrenning av løst glyfosat og avrenning av vann, suspendert stoff, total fosfor og løst fosfat

Sammenhengen mellom avrenning av glyfosat, avrenning av vann, suspendert stoff, total fosfor og løst ortofosfat ble undersøkt ved å identifisere beste regresjonsmodell for denne sammenhengen. Vi benyttet funksjonen «Assistant Multiple Regression» som beregnet signifikansnivå (p) for sammenhengen mellom glyfosat og de kontinuerlige forklaringsvariablene (suspendert stoff, total fosfor, løst fosfat) og sesong (dvs. forsøksår) (sesong 1, 2, 3 og 4) som kategorisk forklaringsvariabel

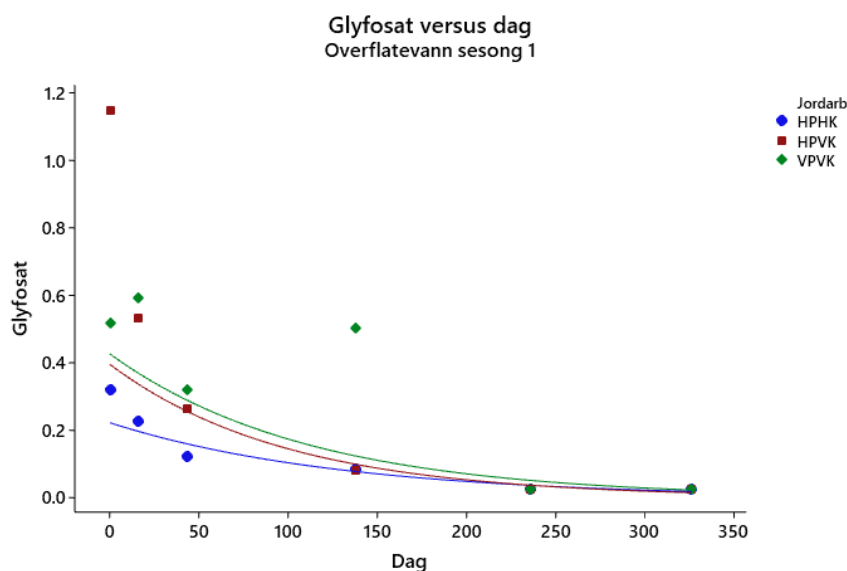
3 Resultater

3.1 Effekten av jordarbeiding på avrenning av løst glyfosat

3.1.1 Overflateavrenning

Målte konsentrasjoner av løst glyfosat i overflateavrenningen fra de ulike jordarbeidingsregimene viser noe variasjon gjennom de fire forsøksårene, både med hensyn til maksimalt påviste konsentrasjoner og hvilken kombinasjon av glyfosatsprøyting og jordarbeiding som gir de høyeste tapene av glyfosat i overflateavrenningen.

Overflateavrenning fra feltet første år (2014/2015) viser lave konsentrasjoner fra alle rutene (Figur 15). Dette var et introduksjonsår og regnes som noe usikkert særlig på grunn av hele feltet var nygrøftet (Hauken m. fl., 2015).



Figur 15. Konsentrasjoner av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i overflateavrenning fra forsøksruter med ulik jordarbeiding (HPHK-høstpløyd høstkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og VPVK-vårpløyd vårkorn) i forsøksåret 2014/2015. Dag 0 indikerer sprøytetidspunkt for glyfosat om høsten.

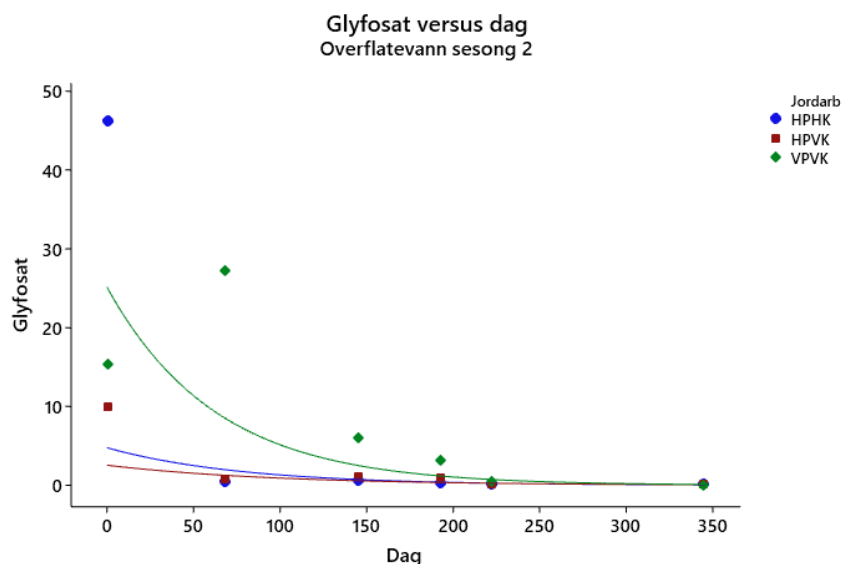
Det var ingen statistisk signifikant forskjell på overflateavrenningen fra rutene med ulik jordarbeiding (Tabell 3).

Tabell 3. Parvis sammenligning av overflateavrenning forsøksåret 2014/2015 fra forsøksruter med ulik jordarbeiding ($n=3$), VPVK-vårpløyd vårkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og HPHK-høstpløyd høstkorn, ved hjelp av Tukeys metode og 95 % konfidensintervall.

Jordarbeiding	N	Gj.snitt	Gruppering
VPVK	18	-1.98719	A
HPVK	18	-2.19737	A
HPHK	18	-2.46982	A

Gruppering indikerer jordarbeidinger med statistisk signifikant forskjellig overflateavrenning ($p < 0.05$).

Det andre forsøksåret var preget av store nedbørmengder på høsten. Mye nedbør kom like før høstkornet ble sådd, noe som påvirket første avrenningsepisode fra høstpløyd høstkorn og ga svært høye konsentrasjoner av løst glyfosat i avrenningen (Figur 16). Ved neste måling var høstkornet etablert og avrenning av glyfosat fra disse rutene var svært lav. Ruter som ble sprøytet om høsten og deretter overvintret i stubb før vårpløying (VPVK) hadde høyest konsentrasjoner av glyfosat i overflateavrenning, da glyfosat sprøytet på overflaten var eksponert for avrenning gjennom hele vinteren.



Figur 16. Konsentrasjoner av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i overflateavrenning fra forsøksruter med ulik jordarbeiding (HPHK-høstpløyd høstkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og VPVK-vårpløyd vårkorn) i forsøksåret 2015/2016. Dag 0 indikerer sprøytetidspunkt for glyfosat om høsten.

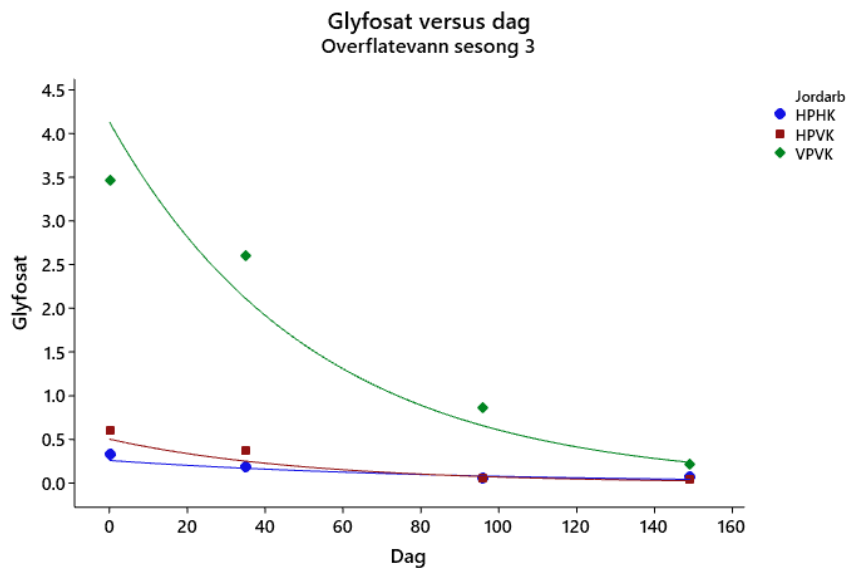
Det var statistisk signifikant forskjell på rutene med vårpløying (VPVK) og de øvrige behandlingene (Tabell 4). Sammenlignet med konsentrasjonene de andre forsøksårene viser dette året svært høye konsentrasjoner.

Tabell 4. Parvis sammenligning av overflateavrenning forsøksåret 2015/2016 fra forsøksruter med ulik jordarbeiding ($n=3$), VPVK-vårpløyd vårkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og HPHK-høstpløyd høstkorn, ved hjelp av Tukeys metode og 95 % konfidensintervall.

Jordarbeiding	N	Gj.snitt	Gruppering
VPVK	18	0.650715	A
HPHK	18	-0.523609	B
HPVK	18	-0.726311	B

Gruppering indikerer jordarbeidinger med statistisk signifikant forskjellig overflateavrenning ($p < 0.05$).

Tredje forsøksår hadde jevnere fordeling av nedbør som gav lavere konsentrasjoner av glyfosat i avrenningsvannet. (Figur 17).



Figur 17. Konsentrasjoner av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i overflateavrenning fra forsøksruter med ulik jordarbeiding (HPHK-høstpløyd høstkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og VPVK-vårpløyd vårkorn) i forsøksåret 2016/2017. Dag 0 indikerer sprøytetidspunkt for glyfosat om høsten.

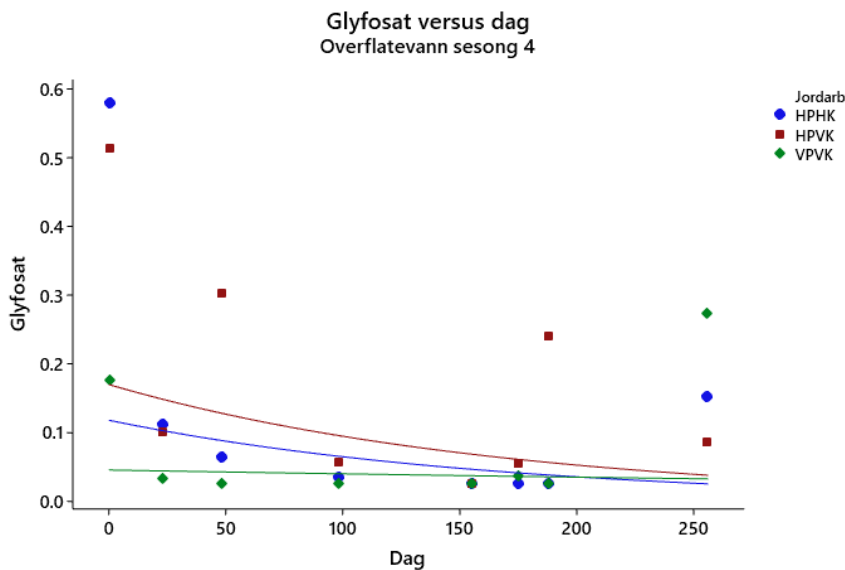
Imidlertid bekrefter målingene at sprøyting om høsten kombinert med overvintring i stubb og pløying om våren, gir høyere konsentrasjoner av glyfosat i avrenning enn øvrige undersøkte kombinasjoner av sprøyting og jordarbeiding. Det var signifikant mer avrenning av glyfosat fra rutene med vårpløying (Tabell 5).

Tabell 5. Parvis sammenligning av overflateavrenning forsøksåret 2016/2017 fra forsøksruter med ulik jordarbeiding ($n=3$), VPVK-vårpløyd vårkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og HPHK-høstpløyd høstkorn, ved hjelp av Tukeys metode og 95 % konfidensintervall.

Jordarbeiding	N	Gj.snitt	Gruppering
VPVK	12	0.07552	A
HPVK	12	-2.08201	B
HPHK	12	-2.20378	B

Gruppering indikerer jordarbeidinger med statistisk signifikant forskjellig overflateavrenning ($p < 0.05$).

Det fjerde forsøksåret ble det ikke sprøytet med glyfosat på høsten på forsøksrutene hvor jorda skulle overvintre i stubb (VPVK), men det ble sprøytet på våren før pløying og såing. Dette er årsaken til lave konsentrasjoner av glyfosat i avrenning i løpet av vinteren fulgt av en avrenningsepisode på våren her, mens de øvrige jordarbeidingene viste samme mønster i konsentrasjoner av glyfosat i avrenning som tidligere år (Figur 18).



Figur 18. Konsentrasjoner av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i overflateavrenning fra forsøksruter med ulike jordarbeiding (HPHK-høstpløyd høstkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og VPVK-vårpløyd vårkorn) i forsøksåret 2017/2018. Dag 0 indikerer sprøytetidspunkt for glyfosat om høsten.

VPVK viste statistisk signifikant lavere konsentrasjoner av glyfosat i avrenning enn HPVK (Tabell 6), da VPVK ikke ble sprøytet på høsten.

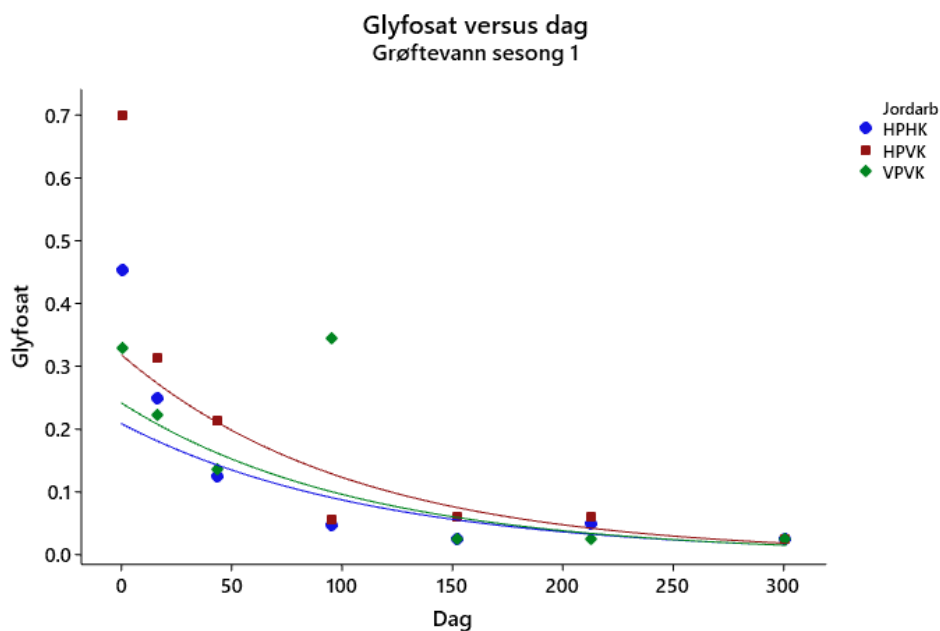
Tabell 6. Parvis sammenligning av overflateavrenning forsøksåret 2017/2018 fra forsøksruter med ulike jordarbeiding ($n=3$), VPVK-vårpløyd vårkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og HPHK-høstpløyd høstkorn, ved hjelp av Tukeys metode og 95 % konfidensintervall.

Jordarbeiding	N	GJ.snitt	Gruppering
HPVK	24	-2.46235	A
HPHK	24	-2.84310	A B
VPVK	24	-3.24080	B

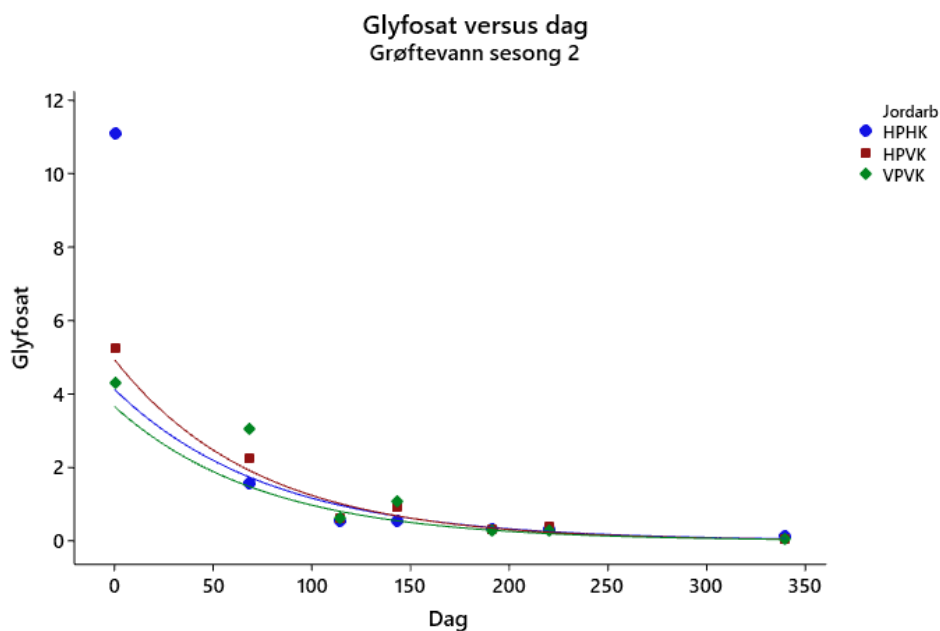
Gruppering indikerer jordarbeidinger med statistisk signifikant forskjellig overflateavrenning ($p < 0.05$).

3.1.2 Grøfteavrenning

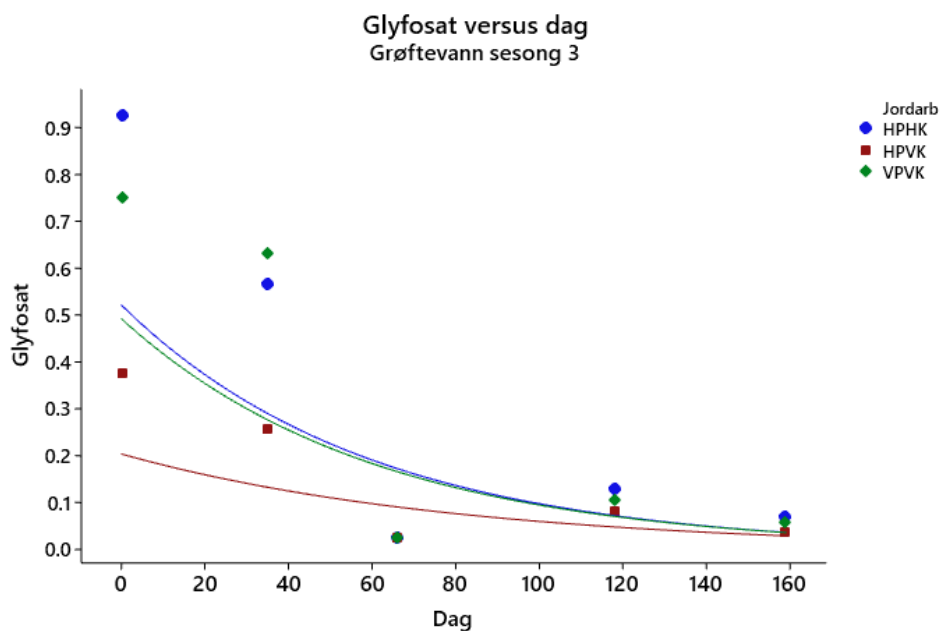
Sammenligning av glyfosatkonsentrasjoner i grønne avrenningen fra de ulike jordarbeidingsregimene viste ingen statistisk signifikante forskjeller mellom de fire forsøksårene. I forsøksåret 2015/2016 ble det målt høye konsentrasjoner av løst glyfosat i grønne avrenningen grunnet mye nedbør om høsten like etter sprøytning. Det var likevel ingen klare forskjeller mellom ulike jordarbeidingsregimer (Figur 19-22).



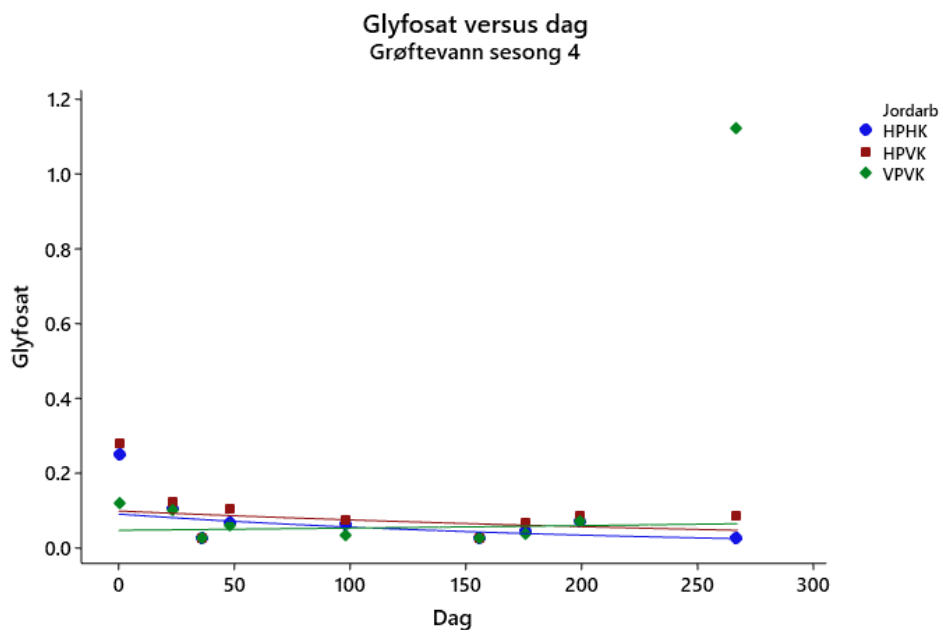
Figur 19. Konsentrasjoner av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i grøfteavrenning fra forsøksruter med ulik jordarbeiding (HPHK-høstpløyd høstkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og VPVK-vårpløyd vårkorn) i forsøksåret 2014/2015. Dag 0 indikerer sprøytetidspunkt for glyfosat om høsten.



Figur 20. Konsentrasjoner av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i grøfteavrenning fra forsøksruter med ulik jordarbeiding (HPHK-høstpløyd høstkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og VPVK-vårpløyd vårkorn) i forsøksåret 2015/2016. Dag 0 indikerer sprøytetidspunkt for glyfosat om høsten.



Figur 21. Konsentrasjoner av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i grøfteavrenning fra forsøksruter med ulike jordarbeiding (HPHK-høstpløyd høstkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og VPVK-vårpløyd vårkorn) i forsøksåret 2016/2017. Dag 0 indikerer sprøytetidspunkt for glyfosat om høsten.



Figur 22. Konsentrasjoner av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i grøfteavrenning fra forsøksruter med ulike jordarbeiding (HPHK-høstpløyd høstkorn, HPVK-høstpløyd vårkorn og VPVK-vårpløyd vårkorn) i forsøksåret 2017/2018. Dag 0 indikerer sprøytetidspunkt for glyfosat om høsten.

3.2 Sammenhengen mellom avrenning av løst glyfosat og avrenning av vann, suspendert stoff, total fosfor og løst fosfat

3.2.1 Overflateavrenning

En analyse av mulige sammenhenger mellom avrenning av løst glyfosat og avrenning av vann, suspendert stoff, total fosfor og løst fosfat i resultatene fra ruteforsøkene, viser at det i hovedsak er mengde avrenningsvann og udefinerte variable det enkelte forsøksår som forklarer forskjeller i konsentrasjonen av løst glyfosat i overflatevannet. Det er generelt ingen statistisk signifikant sammenheng mellom målte konsentrasjonsnivåer i overflateavrenning av glyfosat, suspendert stoff og totalfosfor for de undersøkte jordarbeidingsregimene.

3.2.1.1 Høstpløyd høstkorn (HPHK)

Regresjonsanalyse av avrenningsmålingene fra høstpløyd høstkorn viser at ca. 97 % (r^2) av variasjonen i glyfosatkonsentrasjonene kan forklares ved hjelp av mengde avrenning av vann (mm/dag) fra feltene (3) og variasjon avhengig av udefinerte variable det enkelte forsøksår (4) (Vedlegg, Figur S1). (Økt avrenning gir høyere konsentrasjon av glyfosat.) Modellen er statistisk signifikant ($p < 0.001$). Ved å ta hensyn til løst fosfat vil modellen gi en bedre forklaring av variasjonen til glyfosat ($r^2 > 99\%$) (Vedlegg, Figur S2), mens inkludering av suspendert stoff og total fosfor ikke gir noen bedre forklaringsverdi av modellen. Regresjonsmodellene for de fire forsøksårene er vist i figur 23.

Multiple Regression for glyfosat (ug/L)	
Model Equations Report	
X1: Avrenning (mm/døgn) X2: Total fosfor X3: Løst fosfat X4: Vekstsesong	
Vekstsesong	Final Equations
1	glyfosat (ug/L) = $0.887 - 6.87 X1 - 1.58 X3 + 1.077 X1^2 + 28.29 X1 \cdot X3$
2	glyfosat (ug/L) = $-5.01 + 8.25 X1 - 1.58 X3 + 1.077 X1^2 + 28.29 X1 \cdot X3$
3	glyfosat (ug/L) = $1.57 - 5.44 X1 - 1.58 X3 + 1.077 X1^2 + 28.29 X1 \cdot X3$
4	glyfosat (ug/L) = $1.305 - 7.24 X1 - 1.58 X3 + 1.077 X1^2 + 28.29 X1 \cdot X3$

Figur 23. Regresjonslikninger for sammenhengen mellom konsentrasjon av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i overflateavrenning, avrenningen av vann (mm/døgn) og løst fosfat (mg/L) for de ulike forsøksårene (vekstsesong 1-4) med høstpløyd høstkorn (HPHK).

3.2.1.2 Høstpløyd vårkorn (HPVK)

Avrenningsmålingene viser at ca. 98 % (r^2) av variasjonen i glyfosatkonsentrasjonene kan forklares ved hjelp av mengde avrenning av vann (mm/dag) fra de tre feltene med høstpløyd vårkorn (HPVK) når man hensyntar forsøksår (Vedlegg, Figur S3). Modellen er statistisk signifikant ($p < 0.001$). Det ble ikke bedre forklaringsverdi av modellen ved å inkludere variablene suspendert stoff, total fosfor eller løst fosfat. Regresjonsmodellen for de ulike forsøksårene er vist i figur 24.

Multiple Regression for glyfosat (ug/L) Model Equations Report		
X1: Avrenning (mm/døgn) X2: Vekstsesong		
Vekstsesong		Final Equations
1	glyfosat (n=3)	= 0.247 + 0.294 X1
2	glyfosat (n=3)	= 0.187 + 9.068 X1
3	glyfosat (n=3)	= 0.321 - 0.176 X1
4	glyfosat (n=3)	= 0.181 - 0.033 X1

Figur 24. Regresjonsmodeller for sammenhengen mellom konsentrasjon av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i overflateavrenningen og avrenningen av vann (mm/døgn) for de ulike forsøksårene (vekstsesong 1-4) med høstpløyd vårkorn (HPVK).

3.2.1.3 Vårpløyd vårkorn (VPVK)

Regresjonsanalyse av avrenningsmålingene viser at ca. 35 % (r^2) av variasjonen i glyfosatkonsentrasjonene kan forklares ved hjelp av forsøksår (vekstsesong 1-4) for forsøksrutene med vårpløyd vårkorn (VPVK). Modellen er statistisk signifikant ($p < 0.025$). Analysen indikerer at avrenningen av overflatevann (mm/dag) ikke har noen statistisk signifikant betydning for konsentrasjonen av løst glyfosat under denne jordarbeidingen. Hverken løst fosfat eller suspendert stoff ga noe bidrag til forklaringsverdien av modellen (Vedlegg, Figur S4). Da sprøytepraksis var ulike for forsøksår 1-3 og 4, ble analyse gjort også uten forsøksår 4 i datasettet. Dette ga imidlertid ingen forbedring i modellen ($r^2=30\%$).

3.2.2 Grøfteavrenning

Generelt viser analysene at det er god sammenheng mellom konsentrasjonene av løst glyfosat i grøftevannet og konsentrasjonene av løst fosfat, særlig for de høstpløyde rutene. Suspendert stoff gir noe bidrag til forklaringsverdien i regresjonsmodellen, særlig for høstpløyd vårkorn. Total fosfor viser lite sammenheng med avrenningen av glyfosat i grøftevann og bidrar generelt ikke til forklaringsverdien i regresjonsmodellene.

3.2.2.1 Høstpløyd høstkorn (HPHK)

Multipel regresjon viser signifikant sammenheng mellom konsentrasjon av løst glyfosat og løst fosfat i grøfteavrenningen fra høstpløyd høstkorn (HPHK) for de ulike forsøksårene (vekstsesong 1-4). Regresjonsmodellen kan forklare ca. 94 % av variasjonen i målte glyfosatkonsentrasjoner det enkelte forsøksår (Vedlegg, Figur S5). Regresjonsmodellene for de ulike forsøksårene er vist i figur 25.

Multiple Regression for glyf. (ug/L) Model Equations Report		
X1: Løst fosfat X2: Vekstsesong		
Vekstsesong	Final Equations	
1	glyf. (ug/L) =	3.903 - 99.6 X1 + 539.9 X1^2
2	glyf. (ug/L) =	6.02 - 112.2 X1 + 539.9 X1^2
3	glyf. (ug/L) =	3.59 - 87.5 X1 + 539.9 X1^2
4	glyf. (ug/L) =	8.87 - 141.6 X1 + 539.9 X1^2

Figur 25. Regresjonsmodeller for sammenhengen mellom konsentrasjon av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) og løst fosfat (mg/L) i grøfteavrenningen for de ulike vekstsesongene med høstpløyd høstcorn (HPHK).

Dersom en ikke tar hensyn til forsøksåret og foretar en enkel regresjonsanalyse med grøfteavrenning av løst fosfat som forklaringsvariabel for konsentrasjoner av løst glyfosat, vil denne enkle modellen forklare 86 % av variasjonen i datasettet ($p < 0.001$) (Vedlegg, Figur S6).

Forsøksåret 2015/2016 gav svært høye konsentrasjoner av løst glyfosat i grøfteavrenningen på grunn av ekstrem nedbør kort tid etter sprøyting og pløying av rutene. En separat analyse av dataene fra dette året viser også en god sammenheng mellom løst fosfat og løst glyfosat, med en forklaringsverdi på 94 % av modellen (Vedlegg, S7).

Dersom en i tillegg tar inn suspendert stoff som forklaringsvariabel (Figur 26), vil modellen forbedres svakt ($r^2 = 95.4\%$).

Multiple Regression for glyf. (ug/L) Model Equations Report		
X1: Avrenning (m) X2: Suspendert s X3: Løst fosfat X4: Vekstsesong		
Vekstsesong	Final Equations	
1	glyf. (ug/L) =	3.959 - 0.00415 X2 - 97.7 X3 + 0.000018 X2^2 + 530.9 X3^2
2	glyf. (ug/L) =	6.04 - 0.00415 X2 - 110.9 X3 + 0.000018 X2^2 + 530.9 X3^2
3	glyf. (ug/L) =	3.39 - 0.00415 X2 - 83.2 X3 + 0.000018 X2^2 + 530.9 X3^2
4	glyf. (ug/L) =	8.61 - 0.00415 X2 - 137.4 X3 + 0.000018 X2^2 + 530.9 X3^2

Figur 26. Regresjonsmodeller for sammenhengen mellom konsentrasjon av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i grøfteavrenningen og avrenningen av suspendert stoff og løst fosfat (mg/L) for de ulike vekstsesongene med høstpløyd høstcorn (HPHK).

3.2.2.2 Høstpløyd vårkorn (HPVK)

Multipel regresjonsanalyse viser statistisk signifikant sammenheng ($p < 0.001$) mellom avrenning av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) og løst fosfat (mg/L) i grøftevannet fra høstpløyd vårkorn (HPVK) for de ulike forsøksårene (vekstsesong 1-4). Regresjonsmodellen kan forklare ca. 72 % av variasjonen i målte konsentrasjoner av løst glyfosat for det enkelte forsøksåret (Vedlegg, Figur S8). Det er store forskjeller mellom forsøksårene som vist i de respektive regresjonsmodellene (Figur 27).

Multiple Regression for glyfosat (ug/L)		
Model Equations Report		
X1: Løst fosfat X2: vekstsesong		
vekstsesong	Final Equations	
1	glyfosat (ug/L)	= 3.14 - 60.5 X1 + 271.2 X1^2
2	glyfosat (ug/L)	= 3.29 - 54.6 X1 + 271.2 X1^2
3	glyfosat (ug/L)	= 1.02 - 31.7 X1 + 271.2 X1^2
4	glyfosat (ug/L)	= 7.04 - 92.6 X1 + 271.2 X1^2

Figur 27. Regresjonsmodeller for sammenhengen mellom konsentrasjon av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i grøfteavrenningen og avrenningen av løst fosfat (mg/L) for de ulike forsøksårene (vekstsesong 1-4) med høstpløyd vårkorn (HPVK).

En tilsvarende analyse av konsentrasjoner av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i forhold til avrenning av grøftevann (mm/dag) fra arealer med høstpløyd vårkorn gir en forklaringsverdi på ca. 77 % (Vedlegg, S9).

En videre analyse av konsentrasjoner av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) hvor en inkluderer avrenning av grøftevann (mm/døgn), løst fosfat (mg/L) og suspendert stoff (mg/L) (Figur 28) vil dette gi en ytterligere forbedring av modellen med en forklaringsverdi på 93% ($p < 0.001$).

Multiple Regression for glyfosat (ug/L)		
Model Equations Report		
X1: Avrenning (m) X2: Suspendert s X3: Løst fosfat X4: vekstsesong		
vekstsesong	Final Equations	
1	glyfosat (ug/L)	= 1.865 - 0.704 X1 - 0.00559 X2 - 13.39 X3 + 3.85 X1*X3 + 0.0563 X2*X3
2	glyfosat (ug/L)	= 0.633 - 0.028 X1 + 0.00607 X2 - 13.39 X3 + 3.85 X1*X3 + 0.0563 X2*X3
3	glyfosat (ug/L)	= 0.481 - 0.030 X1 + 0.0073 X2 - 13.39 X3 + 3.85 X1*X3 + 0.0563 X2*X3
4	glyfosat (ug/L)	= 1.660 - 0.448 X1 - 0.00667 X2 - 13.39 X3 + 3.85 X1*X3 + 0.0563 X2*X3

Figur 28. Regresjonsmodeller for sammenhengen mellom konsentrasjon av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i grøfteavrenningen og avrenningen av grøftevann (mm/døgn), suspendert stoff (mg/L) og løst fosfat (mg/L) for de ulike forsøksårene (vekstsesong 1-4) med høstpløyd vårkorn (HPVK).

3.2.2.3 Vårpløyd vårkorn (VPVK)

Analysen av sammenhengen mellom konsentrasjon av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) og løst fosfat (mg/L) i grøfteavrenning viste at ca. 68 % av variasjonen i målt konsentrasjon av løst glyfosat variasjonen kunne forklares ved hjelp av løst fosfat og forsøksår (Vedlegg, Figur S10).

Da sprøytepraksis var ulike for forsøksår 1-3 og 4, ble analyse gjort også uten forsøksår 4 i datasettet. Dette ga imidlertid ingen forbedring i modellen ($r^2=55\%$).

Regresjonsligningen for konsentrasjon av løst glyfosat og løst fosfat i avrenningen for de tre første forsøksårene kan beskrives med X1 = løst fosfat (mg/L) som forklaringsvariabel, da vekstsesong ikke hadde noen effekt på modellen

$$\text{Glyfosat } (\mu\text{g/L}) = 1.30 - 28.6X1 + 197.4X1^2$$

En separat analyse av dataene fra forsøksåret 2015/2016, resulterte i en modell med noe bedre forklaringsverdi ($r^2=88\%$). For dette forsøksåret var konsentrasjon av suspendert stoff i

grøfteavrenningen en statistisk signifikant forklaringsvariabel for konsentrasjonene av løst glyfosat (Vedlegg, Figur S11).

Regresjonslikningen for denne modellen, hvor X_1 =løst fosfat (mg/L) og X_2 =suspendert stoff, blir:

$$\text{Glyfosat } (\mu\text{g/L}) = 4.35 + 22.95X_1 - 0.1981X_2 + 0.001514X_2^2$$

4 Diskusjon

4.1 Effekten av jordarbeiding på avrenning av glyfosat

4.1.1 Overflateavrenning

Etter fire vekstsesonger med målinger av konsentrasjoner av løst glyfosat i overflateavrenning fra felt med ulik jordarbeiding viser resultatene fra to vekstsesonger (2015/2016 og 2016/2017) signifikant høyere konsentrasjoner av glyfosat i avrenning fra vårpløyd vårkorn etter sprøyting med glyfosat på høsten. Første året (2014/2015) var et oppstartsår og kan derfor ikke legges så mye vekt på da forsøksarealet var nygrøftet. Siste forsøksåret ble det ikke behandlet med glyfosat om høsten på rutene med vårpløyd vårkorn, men i stedet sprøytet tidlig på våren før pløying og såing. Dette ga lave konsentrasjoner av glyfosat i avrenning gjennom vinteren, mens det var noe glyfosat i avrenningen på våren. Dette siste forsøksåret ble det målt høyere konsentrasjoner av løst glyfosat i avrenning fra rutene med høstpløyd vårkorn enn vårpløyd vårkorn. Totalt sett så bekrefter forsøkene en forventning om at sprøyting av glyfosat i stubbåkeren som ligger eksponert hele høst/vinter/vår før jordarbeiding, gir høyest konsentrasjoner av glyfosat i avrenning til overflatevann. Dette mønsteret med høyere påviste avrenningskonsentrasjoner ved redusert jordarbeiding er vist også av andre (bl.a. Warnemunde m. fl., 2007; Laitinen m. fl., 2009). Videre har Vuaille m. fl. (2020) vist at jordpakking i kjørespor kan redusere infiltrasjonsevnen til toppjorda og dermed øke risikoen for overflateavrenning, samtidig som makroporer i slik pakka jord kan fungere som hotspots for pesticidtransport til drenevann.

Forsøkene viser videre at ekstreme konsentrasjoner i avrenningsvannet kan forekomme ved kraftig nedbør i perioden etter glyfosatsprøyting og pløying om høsten før såing av høstkorn, men at disse konsentrasjonene vil avta raskt etter etablering av høstkornet. Også andre undersøkelser indikerer at transport av glyfosat fra jord til vann kan domineres av noen få episoder/korte perioder da forholdene for transport er spesielt gunstige, spesielt ved nedbør kort tid etter sprøyting (bl.a. Richards m. fl., 2018; Screpanti m. fl., 2005; Shipitalo & Owens 2006). Maksimalt påviste konsentrasjoner i overflateavrenning fra forsøkene på Kjelle på om lag 78 µg/L, er tilsvarende de konsentrasjonsnivåene som er påvist av andre. Richards m. fl. (2018) målte konsentrasjoner opp mot 90 µg/L gjennom nedbørepisoder fra 3 til 13 dager etter sprøyting, og også en indikasjon på forhøyet risiko for avrenning ved allerede fuktige/våte jordforhold på grunn av mindre binding til jord under slike forhold. Screpanti m. fl. (2005) målte konsentrasjoner opp mot 16 µg/L, mens Warnemunde m. fl. (2007) målte maksimale konsentrasjoner så høye som 233 µg/L under redusert jordarbeiding og 180 µg/L ved konvensjonell jordarbeiding. Målinger ved Blindern målestasjon viser at nedbørintensiteten-varighet og frekvens for perioden 1970-2020 har økt med dobbelt så mange styrbyger i 2020 som i 1970 (Aftenposten 28. juli 2021 basert på data fra Norsk klimaservicesenter-<https://klimaservicesenter.no/ivf?locale=nb&locationId=SN18701>). Dersom denne trenden fortsetter, vil det være økt risiko for høye konsentrasjoner av glyfosat i avrenningsvannet.

4.1.2 Grøfteavrenning

Dataene fra ruteforsøket på Kjelle viser ingen statistisk signifikante forskjeller i konsentrasjonsnivåene av løst glyfosat i grøfte-/drenevann mellom de undersøkte jordarbeidingsregimene. Det har blitt vist at pløying kan bryte makroporene i jorda i plogsjiktet og derved redusere transport ned til grøftesystemet inntil makroporene er re-etablert (Jarvis, 2007). Dette kan forventes å kunne måles som lavere konsentrasjonsnivåer i grøfteavrenning gjennom høst- og vintersesongen fra felter med høstpløying sammenliknet med vårpløying, noe våre resultater ikke bekrefter. Det er imidlertid kun data for løst glyfosat som er inkludert i våre analyser. Svenske studier viser at en til dels stor andel av

glyfosatavrenning gjennom drensvann kan forekomme som partikkelbundet stoff (ca. 60 % av totalt tap) (Ulèn m. fl. 2012). Disse studiene viste også mindre avrenning fra pløyde felt sammenliknet med felt med grunnere jordarbeiding (ca. 12 cm dybde). Regresjonsanalysen viser også at det er en viss sammenheng mellom grøfteavrenning av glyfosat og suspendert stoff (SS), både ved vårpløyd vårkorn og høstpløyd vårkorn (HPVK) (4.2.2).

Konklusjonene fra publiserte vitenskapelig studier på dette området er imidlertid noe sprikende, med resultater som viser både økt utlekking under redusert (plogfri) jordarbeiding, ingen effekt av jordarbeiding og økt utlekking ved konvensjonell jordarbeiding (Alletto m. fl., 2010). Det indikeres imidlertid at utlekking er større under redusert jordarbeiding når det eksisterer makroporer som er knyttet til drensrør eller når ned til grunnvann (Alletto m. fl., 2010; Shipitalo m. fl., 2000). Nedbørsmønsteret etter sprøyting vil også være avgjørende for faktisk utlekking da kraftig nedbør kort tid etter sprøyting vil øke risikoen for rask transport via makroporer, mens flere små nedbørepisoder etter sprøyting kan føre til noe nedvasking av plantevernmidler og redusert makroporetransport (Shipitalo m. fl., 2000). Rasmussen m.fl. (2015) konkluderer med at utlekking av glyfosat vil forekomme hyppigere under spesielle forhold som er avhengig bl.a. av kombinasjonen av jordtype/jordegenskaper, fuktighet i jorda når nedbør starter og nedbørintensitet, og viser i sine undersøkelser at nedbørintensitet har stor effekt på total avrenning fra lettleire, mens avrenning fra sandige jordtyper var bestemt av totalt avrenningsvolum.

Vereecken (2005) viser til en rekke eksperimentelle og numeriske studier som indikerer at andre sterkt bundne pesticider kan bli transportert raskt til undergrunnsjorda. Dette støtter hypotesen om at transport av glyfosat sammenfaller med og skyldes kombinasjon av kraftig nedbør like etter sprøyting og våt jord med tilstedeværelse av makroporer (preferential flow path). Det vises videre til at glyfosat i europeisk grunnvann bare er sporadisk rapportert, imidlertid er overvåking begrenset (Vereecken, 2005). Borggaard og Gimsing (2008) viser til at binding i jord kan redusere/bremse transport av glyfosat nedover i jordprofilen og slik redusere risikoen for transport til grunnvann, samt at utlekking til drensrør (og transport til overflatevann) ikke nødvendigvis indikerer risiko for transport ned til grunnvann.

4.2 Sammenhengen mellom avrenning av løst glyfosat og avrenning av vann, suspendert stoff, fosfor og løst fosfat

Diskusjonen i kapittel 4.1 viser at transport av glyfosat i jord er sterkt påvirket av nedbør- og avrenningsintensitet og -volum og vi har derfor hatt fokus på avrenningsvolum som forklaringsfaktor for avrenning av løst glyfosat i analysene gjennomført her. Videre påvirker sorpsjon (binding) både nedbryting og transport av glyfosat. Binding blir ofte regnet som den mest sensitive parameter i risikovurderingen i forhold til miljøet (De Geronimo m. fl., 2018; Gimsing m. fl., 2004). Glyfosat er et organofosfat og er derfor i stand til å reagere med de samme jordkomponentene som fosfater og konkurrerer om binding til jord (Gerritse m. fl., 1996; Munira m. fl., 2018; Piccolo & Celano, 1994; Wang m.fl., 2005). Dette er grunnlag for at vi også har hatt fokus på samvariasjon mellom løst glyfosat og løst fosfat, suspendert stoff og total-fosfor i våre analyser.

4.2.1 Overflateavrenning

Regresjonsanalysene for våre data viste signifikant sammenheng mellom konsentrasjonen av løst glyfosat og mengde vann (mm/dag) i overflateavrenningen fra de høstpløyde rutene, med en forklaringsverdi for regresjonsmodellene på >97 % for både høstpløyd høstkorn og høstpløyd vårkorn. I praksis betyr det at i år med mye overflateavrenning vil det være høye konsentrasjoner av glyfosat fra åker med høstpløying.

For de høstpløyde rutene med høstkorn identifiserte analysen også at løst fosfat som forklaringsvariabel ga en modell med forbedret forklaringsverdi for målte konsentrasjoner av løst

glyfosat. Høstkornet blir imidlertid gjødslet (fosfat inkludert) i forbindelse med såingen av høstkornet, noe som ikke er tilfelle med høstpløyd vårkorn og vårpløyd vårkorn. Dette kan være forklaringen på at høstpløyd høstkorn gir mer avrenning av fosfat og derfor er korrelert med vannmengde og glyfosatsprøyting på høsten. Sammenhengen mellom løst glyfosat og løst fosfat er imidlertid komplisert da disse konkurrerer om bindingssteder i jorda, jorda har et bakgrunnsnivå av fosfor og at fosfor tilføres jord gjennom gjødsling. Bindingen av glyfosat i jord kan ha stor romlig variasjon og særlig sjiktet under ploglaget (B-sjiktet) har stor bindingskapasitet i jordprofiler med dårlig drenering og periodevist reduserende forhold (Singh m. fl., 2014). Undersøkelse med subtropiske jordtyper (oxisols) rik på aluminium og jernoksider er beskrevet å ha de høyeste målte verdier for binding av glyfosat. Med slike verdier er det ikke forventet utlekking av fritt glyfosat til overflatevann eller grunnvann (Pereira m.fl., 2019). Sorpsjonsundersøkelser fra New Zealand og Australia viser høye verdier for sorpsjon til jord fra grasmark. Glyfosat bindes spesielt til den uorganiske jordkomponenten som jern- og aluminiumsoksid. Lav pH gir økt binding av glyfosat mens pH har liten effekt på bindingen av fosfat. Mengden av organisk karbon har liten betydning for binding både for glyfosat eller fosfat (Gimsing & Borggaard, 2001). Laitinen m.fl. (2009) viser til en redusert risiko for avrenning om høsten ved sprøyting av glyfosat på tørr jord med lav P-status på grunn av økt binding av glyfosat i overflatesjiktet. Dette kan imidlertid senere mobiliseres og føre til økt avrenning om våren dersom jorda ikke bearbeides om høsten. Videre kan sprøyting på våt jord med høy P-status gi betydelige avrenning også før pløying om høsten.

Analysen av data for de vårpløyde rutene viste ingen eller liten sammenheng mellom avrenning av glyfosat og de ulike forklaringsvariablene. Ved vårpløying vil jorda etter høsting bli liggende urørt uten jordarbeiding og «ny jord» vil ikke bli eksponert for avrenning av fosfat. Derimot vil disse arealene være sprøytet med glyfosat og eksponert for glyfosat-avrenning hele høst /vinter og vår. Det er derfor ikke forventet en sammenheng mellom de andre avrenningsvariablene og glyfosat ved vårpløying.

Det er flere nyere studier som viser at transport av glyfosat i overflateavrenning er dominert av partikkelbundet glyfosat (bl.a. Bento m. fl., 2018; Yang m. fl., 2015). Bento m. fl. (2018) sine resultater indikerer at dette i stor grad er transport med suspendert materiale (SS). I våre undersøkelser er det imidlertid ikke analysert for partikkelbundet glyfosat og vi kan ikke vurdere om dette har vært en avgjørende faktor i våre forsøk.

4.2.2 Grøfteavrenning

For grønneavrenningen viste regresjonsanalysen en statistisk signifikant sammenheng mellom målte konsentrasjoner av løst glyfosat og løst fosfat i avrenningen fra de høstpløyde rutene, men med bedre forklaringsverdi for høstpløyd høstkorn (94 %) enn for høstpløyd vårkorn (72 %). Regresjonsanalysen for vårpløyd vårkorn ga en modell for sammenhengen mellom konsentrasjonen av løst glyfosat og løst fosfat med noe lavere forklaringsverdi (68 %).

Resultatene indikerer at konsentrasjonsnivåer av løst fosfat i grønneavrenning vil gi en god indikasjon på konsentrasjonen løst glyfosat for alle typer jordarbeiding. Den praktiske anvendelsen av dette resultatet kompliseres imidlertid av endringer i fosfortilførsel ved endret gjødsling e.l. og at sammenhengen vil variere avhengig av faktisk gjødslingsnivå og bakgrunnsnivåer av fosfor. Konkurransen mellom binding av glyfosat og fosfat i jord kompliserer ytterligere, og det er studier som indikerer at økt fosforgjødsling også øker risikoen for avrenning av glyfosat (Sasal m. fl., 2015).

Resultat fra enkeltår (2015/2016) viser at suspendert stoff kan bidra til en bedre forklaringsmodell for vårpløyde ruter, men dette var ikke et statistisk signifikant resultat for alle forsøksårene i våre undersøkelser.

En mulig forklaring på at suspendert stoff gir en bedre forklaringsmodell for dette forsøksåret da det var flere større nedbørepisoder, er at utsatt jordarbeiding med vårpløying gir et jordsmonn med intakte makroporer gjennom høsten og vinteren. På denne måten blir det mer avrenning av

suspendert stoff og bevegelse ned til drencsystemet i høst- og vinterperioden med generelt mye nedbør.

Våre data omfatter imidlertid kun analyser av løst glyfosat i drencavrenningen. Studier av Ulèn m. fl. (2012) i Sverige viser at konsentrasjoner av partikkelbundet glyfosat målt i drencvann på høsten var korrelert med konsentrasjoner av partikkelbundet fosfor som igjen var korrelert med turbiditeten (dvs. mengde suspendert stoff) i vannprøvene. Gjettermann m. fl. (2009, 2011) viser til at transport av glyfosat som partikkelbundet stoff dominerer på pløyde areal, mens tap som løst stoff var dominerende fra jord som ikke var forstyrret av omfattende jordarbeiding. Ulèn m. fl. (2012) bekrefter også denne sammenhengen ved at de viser til at lavere tap av glyfosat er knyttet til høyere aggregatstabilitet. I snøsmeltingsperioden var tapene av glyfosat i de svenske studiene større enn på høsten, men i denne perioden var andelen tapt som løst glyfosat dominerende (ca. 60 %). Studier rapportert av Kjaer m. fl. (2011) viser kun en lav andel (ca. 10 %) partikkelbundet glyfosat i målt utlekking.

5 Konklusjon og avsluttende kommentarer

Ruteforsøkene som er gjennomført ved Kjelle videregående skole viser det kompliserte samspillet mellom plantevernpraksis, jordarbeiding, jordstruktur/makroporer, nedbørmengde og -intensitet, avrenningsforhold og de faktisk målte konsentrasjoner av plantevernmiddel i overflateavrenning og drensvann gjennom flere vekstsesonger/driftsår.

Resultatene støtter hypotesen om at sprøyting av glyfosat i stubben om høsten uten påfølgende pløying vil gi høyere konsentrasjoner av glyfosat gjennom påfølgende avrenningssesong. De viser imidlertid også at ekstreme nedbør-/avrenningsepisoder kan gi svært høye konsentrasjoner av glyfosat i avrenningen også for andre jordarbeidinger, da vi målte de maksimale konsentrasjoner i overflate- og drensavrenning fra ruter med høstpløying på grunn av ekstrem nedbør kort tid etter sprøyting og pløying. Dette illustrerer hvor avgjørende både sprøytetidspunkt, jordas aggregatstabilitet og nedbørintensiteten er for avrenningen som skjer ved en gitt nedbørepisode. Sett på bakgrunn av en økende trend for de siste femti år med mer styrtregn og økt nedbørmengde pr time er risikoen for episoder med høye konsentrasjoner av plantevernmiddel økende.

Våre analyser var begrenset til analyser av løst glyfosat i avrenningen, mens en andel av glyfosattransporten antas å foregå som partikkelbundet materiale. Eksisterende litteratur viser at denne andelen kan variere stort både som følge av jordarbeidingsintensitet og med tid på året, slik at transport av glyfosat som partikkelbundet materiale vil utgjøre en potensielt stor andel på pløyde areal samt om høsten. I snøsmeltingen om våren er det løst glyfosat som dominerer.

Våre resultater indikerer at konsentrasjonsnivåer av løst glyfosat i overflateavrenning i hovedsak er bestemt av totalt volum avrenning, mens konsentrasjonsnivåer i drensvann viser korrelasjon med løst fosfat. Den praktiske anvendelsen av sistnevnte forhold kompliseres imidlertid av løst glyfosat og løst fosfat konkurrerer om bindingssteder i jorda, jorda har et bakgrunnsnivå av fosfor og at fosfor tilføres jord gjennom gjødsling. Det er studier som indikerer at økt fosforgjødsling også øker risikoen for tap av glyfosat.

I samsvar med eksisterende overvåkingsresultater så vi at glyfosat gjenfinnes i miljøet når det benyttes. Imidlertid var de målte konsentrasjoner av løst glyfosat selv ved ekstreme nedbørepisoder langt lavere enn hva som antas å kunne ha en negativ effekt i miljøet. Disse resultatene indikerer derfor at dagens praksis for bruk av glyfosat isolert sett ikke kan forventes å ha noen negativ effekt i miljøet.

Litteraturreferanser

- Alletto, L., Coquet, Y., Benoit, P., Heddadj, D., & Barriuso, E. (2010). Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review [Review]. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 367-400. <https://doi.org/10.1051/agro/2009018>
- Bechmann, M., Kværnø, S., & Eklo, O. M. (2016). Kjelle avrenningsforsøk. Årsrapport 2014-2015 for jordarbeidingsforsøk på lav erosjonsrisiko. *NIBIO Rapport*, 1, 66.
- Bechmann, M., Starkloff, T., Eklo, O. M., & Tveiti, G. (2019). Kjelle avrenningsforsøk. Årsrapport 2017-2018 for jordarbeidingsforsøk på lav erosjonsrisiko. *NIBIO Rapport*.
- Bechmann, M., Starkloff, T., Kværnø, S., Eklo, O. M., & Tveiti, G. (2017). Kjelle avrenningsforsøk. Årsrapport 2016-2017 for jordarbeidingsforsøk på lav erosjonsrisiko. *NIBIO Rapport*, 3.
- Bechmann, M., Stenrød, M., Kværnø, S. H., & Eggestad, O. (2021). Erosjon og tap av næringsstoffer og plantevernmidler fra jordbruksdominerte nedbørfelt - Sammendragsrapport fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) for 1992 - 2019 [Sammendragsrapport]. *NIBIO Rapport*, 7 (135), 124. <https://hdl.handle.net/11250/2762684>
- Bechmann, M., Kværnø, S.H. og Eklo, O.M., 2015. Kjelle avrenningsforsøk. Årsrapport 2014-2015 for jordarbeidingsforsøk på lav erosjonsrisiko. NIBIO-rapport vol. 1 nr. 80, 66 s. ISBN 978-82-17-01544-4; ISSN 2464-1162.
- Bento, C. P. M., Commelin, M. C., Baartman, J. E. M., Yang, X. M., Peters, P., Mol, H. G. J., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2018). Spatial glyphosate and AMPA redistribution on the soil surface driven by sediment transport processes - A flume experiment [Article]. *Environmental Pollution*, 234, 1011-1020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.003>
- Borggaard, O. K., & Gimsing, A. L. (2008). Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. *Pest Management Science*, 64(4), 441-456. <https://doi.org/10.1002/ps.1512>
- Cederlund, H., Börjesson, E., & Stenström, J. (2017). Effects of a wood-based biochar on the leaching of pesticides chlorpyrifos, diuron, glyphosate and MCPA. *Journal of Environmental Management*, 191, 28-34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.004>
- Cui, H., Zhang, S., Li, R., Yi, Q., Zheng, X., Hu, Y., & Zhou, J. (2017). Leaching of Cu, Cd, Pb, and phosphorus and their availability in the phosphate-amended contaminated soils under simulated acid rain. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(26), 21128-21137.
- Daouk, S., De Alencastro, L. F., & Pfeifer, H. R. (2013). The herbicide glyphosate and its metabolite AMPA in the Lavaux vineyard area, western Switzerland: Proof of widespread export to surface waters. Part II: The role of infiltration and surface runoff. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 48(9), 725-736. <https://doi.org/10.1080/03601234.2013.780548>
- De Geronimo, E., Aparicio, V. C., & Costa, J. L. (2018). Glyphosate sorption to soils of Argentina. Estimation of affinity coefficient by pedotransfer function. *Geoderma*, 322, 140-148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.037>
- Du, Y.-J., Wei, M.-L., Reddy, K. R., Jin, F., Wu, H.-L., & Liu, Z.-B. (2014). New phosphate-based binder for stabilization of soils contaminated with heavy metals: leaching, strength and microstructure characterization. *Journal of Environmental Management*, 146, 179-188. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.035>

- Eklo, O. M., Kværner, J., Solbakken, E., Lågbu, R., Odenmarck, S. R., Bolli, R., Almvik, M., & I., S. (2019). Plantevernmidler i grunnvann og verktøy for tiltak. NIBIO Rapport, 5(92), 56. <http://hdl.handle.net/11250/2610495>
- Esteller, M., Martínez-Valdés, H., Garrido, S., & Uribe, Q. (2009). Nitrate and phosphate leaching in a Phaeozem soil treated with biosolids, composted biosolids and inorganic fertilizers. *Waste Management*, 29(6), 1936-1944. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.12.025>
- Fomsgaard, I. S., Spliid, N. H., & Felding, G. (2003). Leaching of pesticides through normal-tillage and low-tillage soil - A lysimeter study. II. Glyphosate. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 38(1), 19-35. <https://doi.org/10.1081/pfc-120016603>
- Garba, J., Samsuri, A., Othman, R., & Hamdani, M. S. A. (2018). Adsorption-desorption and leaching potential of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in acidic Malaysian soil amended with cow dung and rice husk ash [Article]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(11), 15, Article 676. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7034-3>
- Geng, Y., Jiang, L. J., Zhang, D. Y., Liu, B. J., Zhang, J. R., Cheng, H. Y., Wang, L., Peng, Y., Wang, Y. H., Zhao, Y. J., Xu, Y. P., & Liu, X. W. (2021). Glyphosate, aminomethylphosphonic acid, and glufosinate ammonium in agricultural groundwater and surface water in China from 2017 to 2018: Occurrence, main drivers, and environmental risk assessment [Article]. *Science of the Total Environment*, 769, 13, Article 144396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144396>
- Gerritse, R. G., Beltran, J., & Hernandez, F. (1996). Adsorption of atrazine, simazine, and glyphosate in soils of the Gngangara Mound, Western Australia [Article]. *Australian Journal of Soil Research*, 34(4), 599-607. <https://doi.org/10.1071/sr9960599>
- Gikonyo, E., Zaharah, A. R., Hanafi, M. M., & Anuar, R. (2010). Phosphorus Leaching in an Acid Tropical Soil "Recapitalized" with Phosphate Rock and Triple Superphosphate [Article]. *TheScientificWorldJournal*, 10, 1498-1508. <https://doi.org/10.1100/tsw.2010.156>
- Gimsing, A. L., & Borggaard, O. K. (2001). Effect of KCl and CaCl₂ as background electrolytes on the competitive adsorption of glyphosate and phosphate on goethite [Article]. *Clays and Clay Minerals*, 49(3), 270-275. <https://doi.org/10.1346/ccmn.2001.0490310>
- Gimsing, A. L., Borggaard, O. K., & Sestoft, P. (2004). Modeling the kinetics of the competitive adsorption and desorption of glyphosate and phosphate on goethite and gibbsite and in soils. *Environmental Science & Technology*, 38(6), 1718-1722.
- Gjettermann, B., Petersen, C. T., Hansen, S., Koch, C. B., & Styczen, M. (2011). Kinetics of Glyphosate Desorption from Mobilized Soil Particles. *Soil Science Society of America Journal*, 75(2), 434-443. <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0198>
- Gjettermann, B., Petersen, C. T., Koch, C. B., Spliid, N. H., Gron, C., Baun, D. L., & Styczen, M. (2009). Particle-facilitated Pesticide Leaching from Differently Structured Soil Monoliths. *Journal of Environmental Quality*, 38(6), 2382-2393. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0417>
- Gros, P., Meissner, R., Wirth, M. A., Kanwischer, M., Rupp, H., Schulz-Bull, D. E., & Leinweber, P. (2020). Leaching and degradation of C-13(2)-N-15-glyphosate in field lysimeters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(2), Article 127. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8045-4>
- Gunarathna, S., Gunawardana, B., Jayaweera, M., Manatunge, J., & Zoysa, K. (2018). Glyphosate and AMPA of agricultural soil, surface water, groundwater and sediments in areas prevalent with chronic kidney disease of unknown etiology, Sri Lanka. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 53(11), 729-737. <https://doi.org/10.1080/03601234.2018.1480157>

- Hauken, M., Kværnø, S., Bechmann, M., Tveiti, G., & Eklo, O. M. (2015). Etablering av Kjelle jordarbeidingsforsøk. Ruteforsøk med måling av overflate-og grøfteavrenning. *Bioforsk rapport*, 10, 50.
- Hegedus, M., Toth-Bodrogi, E., Nemeth, S., Somlai, J., & Kovacs, T. (2017). Radiological investigation of phosphate fertilizers: Leaching studies. *Journal of Environmental Radioactivity*, 173, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.10.006>
- Hollister, C. C., Bisogni, J. J., & Lehmann, J. (2013). Ammonium, Nitrate, and Phosphate Sorption to and Solute Leaching from Biochars Prepared from Corn Stover (*Zea mays* L.) and Oak Wood (*Quercus* spp.). *Journal of Environmental Quality*, 42(1), 137-144. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0033>
- Jacobsen, C. S., van der Keur, P., Iversen, B. V., Rosenberg, P., Barlebo, H. C., Torp, S., Vosgerau, H., Juhler, R. K., Ernsten, V., Rasmussen, J., Brinch, U. C., & Jacobsen, O. H. (2008). Variation of MCPA, metribuzine, methyltriazine-amine and glyphosate degradation, sorption, mineralization and leaching in different soil horizons. *Environmental Pollution*, 156(3), 794-802. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.06.002>
- Jarvis, N. J. (2007). A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality [Review]. *European Journal of Soil Science*, 58(3), 523-546. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00915.x>
- Jiang, L. G., Liang, B., Xue, Q., & Yin, C. W. (2016). Characterization of phosphorus leaching from phosphate waste rock in the Xiangxi River watershed, Three Gorges Reservoir, China. *Chemosphere*, 150, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.008>
- Kjaer, J., Ernsten, V., Jacobsen, O. H., Hansen, N., de Jonge, L. W., & Olsen, P. (2011). Transport modes and pathways of the strongly sorbing pesticides glyphosate and pendimethalin through structured drained soils. *Chemosphere*, 84(4), 471-479. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.029>
- Kjaer, J., Olsen, P., Ullum, M., & Grant, R. (2005). Leaching of glyphosate and amino-methylphosphonic acid from Danish agricultural field sites. *Journal of Environmental Quality*, 34(2), 608-620. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0608>
- Kjaer, J., Ullum, M., Olsen, P., Sjelborg, P., Helweg, A., Bügel Mogensen, B., Plauborg, F., Grant, R., Fomsgaard, I. S., & Brusch, W. (2003). The Danish pesticide leaching assessment programme. Monitoring results May 1999-June 2002. Third report. *Geological Survey of Denmark and Greenland. Danish Institute of Agricultural Sciences, National Environmental Research Institute*. www.pesticidvarsling.dk
- Kværnø, S., Bechmann, M., Eklo, O. M., Tveiti, G., & Bolli, R. (2017). Kjelle avrenningsforsøk. Årsrapport 2015–2016 for jordarbeidingsforsøk på lav erosjonsrisiko. *NIBIO Rapport*.
- Laitinen, P., Ramo, S., Nikunen, U., Jauhainen, L., Siimes, K., & Turtola, E. (2009). Glyphosate and phosphorus leaching and residues in boreal sandy soil. *Plant and soil*, 323(1-2), 267-283. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9935-y>
- Landry, D., Dousset, S., Fournier, J. C., & Andreux, F. (2005). Leaching of glyphosate and AMPA under two soil management practices in Burgundy vineyards (Vosne-Romane'e, 21-France). *Environmental Pollution*, 138(2), 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.04.007>
- Langaro, A. C., Barros, J. P. A., Souza, M. F., Silva, E. M. G., & Silva, A. A. (2019). Estimation of Sulfentrazone Leaching in Isolated Application and in Mixture with Glyphosate. *Planta Daninha*, 37, Article e019182708. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100017>

- Liang, Y., Wei, D. Y., Hu, J. S., Zhang, J., Liu, Z., Li, A. M., & Li, R. H. (2020). Glyphosate and nutrients removal from simulated agricultural runoff in a pilot pyrrhotite constructed wetland. *Water Research*, 168, Article 115154. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115154>
- Mattilsynet. (2018). Fakta om glyfosat. https://www.mattilsynet.no/planter_og_dyrking/plantevernmidler/godkjenning_av_plantevernmidler/fakta_om_glyfosat.3100/binary/Fakta%20om%20glyfosat
- Munira, S., Farenhorst, A., & Akinremi, W. (2018). Phosphate and glyphosate sorption in soils following long-term phosphate applications. *Geoderma*, 313, 146-153. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.030>
- Munira, S., Farenhorst, A., Flaten, D., & Grant, C. (2016). Phosphate fertilizer impacts on glyphosate sorption by soil [Article]. *Chemosphere*, 153, 471-477. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.028>
- Napoli, M., Cecchi, S., Zanchi, C. A., & Orlandini, S. (2015). Leaching of Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid through Silty Clay Soil Columns under Outdoor Conditions. *Journal of Environmental Quality*, 44(5), 1667-1673. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.02.0104>
- Norgaard, T., Moldrup, P., Ferre, T. P. A., Olsen, P., Rosenbom, A. E., & de Jonge, L. W. (2014). Leaching of Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid from an Agricultural Field over a Twelve-Year Period. *Vadose Zone Journal*, 13(10). <https://doi.org/10.2136/vzj2014.05.0054>
- Oliver, D. P., Kookana, R. S., Miller, R. B., & Correll, R. L. (2016). Comparative environmental impact assessment of herbicides used on genetically modified and non-genetically modified herbicide-tolerant canola crops using two risk indicators. *Science of the Total Environment*, 557, 754-763. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.106>
- Padilla, J. T., & Selim, H. M. (2019). Interactions among Glyphosate and Phosphate in Soils: Laboratory Retention and Transport Studies [Article]. *Journal of Environmental Quality*, 48(1), 156-163. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.06.0252>
- Pereira, E. A. O., Melo, V., Abate, G., & Masini, J. C. (2019). Adsorption of glyphosate on Brazilian subtropical soils rich in iron and aluminum oxides [Article]. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 54(11), 906-914. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1644947>
- Piccolo, A., & Celano, G. (1994). Hydrogen - bonding interactions between the herbicide glyphosate and water - soluble humic substances. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 13(11), 1737-1741. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/etc.5620131104>
- PPDB. (2015). *Pesticide Properties Database: University of Hertfordshire* <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/>
- Queiroz, G. M. P., da Silva, M. R., Bianco, R. J. F., Pinheiro, A., & Kaufmann, V. (2011). Glyphosate transport in runoff and leaching waters in agricultural soil [Article]. *Quimica Nova*, 34(2), 190-195. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422011000200004>
- Rasmussen, S. B., Abrahamsen, P., Nielsen, M. H., Holm, P. E., & Hansen, S. (2015). Effects of Single Rainfall Events on Leaching of Glyphosate and Bentazone on Two Different Soil Types, using the DAISY Model. *Vadose Zone Journal*, 14(11). <https://doi.org/10.2136/vzj2014.11.0164>
- Richards, B. K., Pacenka, S., Meyer, M. T., Dietze, J. E., Schatz, A. L., Teuffer, K., Aristilde, L., & Steenhuis, T. S. (2018). Antecedent and Post-Application Rain Events Trigger Glyphosate Transport from Runoff-Prone Soils [Article]. *Environmental Science & Technology Letters*, 5(5), 249-254. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.8b00085>

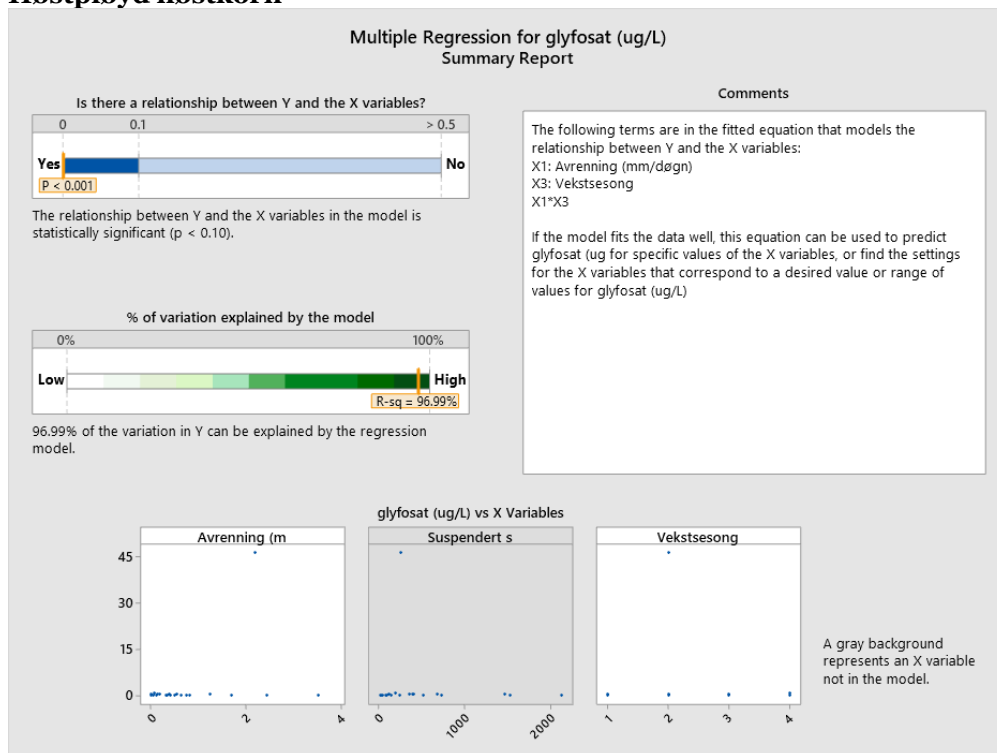
- Rosenbom, A. E., Karan, S., Badawi, N., Gudmundsson, L., Hansen, C. H., Nielsen, C. B., Plauborg, F., & Olsen, P. (2021). The Danish Pesticide Leaching Assessment Programme. Monitoring results May 1999 - June 2019. Geological Survey of Denmark and Greenland Danish Ministry of Climate, Energy and Utilities. www.pesticidvarsling.dk
- Sasal, M. C., Demonte, L., Cislighi, A., Gabioud, E. A., Oszust, J. D., Wilson, M. G., Michlig, N., Beldomenico, H. R., & Repetti, M. R. (2015). Glyphosate Loss by Runoff and Its Relationship with Phosphorus Fertilization [Article]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(18), 4444-4448. <https://doi.org/10.1021/jf505533r>
- Saunders, L. E., & Pezeshki, R. (2015). Glyphosate in Runoff Waters and in the Root-Zone: A Review. *Toxics*, 3(4), 462-480. <https://doi.org/10.3390/toxics3040462>
- Screpanti, C., Accinelli, C., Vicari, A., & Catizone, P. (2005). Glyphosate and glufosinate-ammonium runoff from a corn-growing area in Italy [Article]. *Agronomy for Sustainable Development*, 25(3), 407-412. <https://doi.org/10.1051/agro:2005031>
- Shipitalo, M. J., Dick, W. A., & Edwards, W. M. (2000). Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil & Tillage Research*, 53(3-4), 167-183. [https://doi.org/10.1016/s0167-1987\(99\)00104-x](https://doi.org/10.1016/s0167-1987(99)00104-x)
- Shipitalo, M. J., Malone, R. W., & Owens, L. B. (2008). Impact of glyphosate-tolerant soybean and glufosinate-tolerant corn production on herbicide losses in surface runoff. *Journal of Environmental Quality*, 37(2), 401-408. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0540>
- Shipitalo, M. J., & Owens, L. B. (2006). Tillage system, application rate, and extreme event effects on herbicide losses in surface runoff [Article]. *Journal of Environmental Quality*, 35(6), 2186-2194. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0476>
- Shipitalo, M. J., & Owens, L. B. (2011). Comparative Losses of Glyphosate and Selected Residual Herbicides in Surface Runoff from Conservation-tilled Watersheds Planted with Corn or Soybean. *Journal of Environmental Quality*, 40(4), 1281-1289. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0454>
- Shuman, L. M. (2003). Fertilizer source effects on phosphate and nitrate leaching through simulated golf greens. *Environmental Pollution*, 125(3), 413-421. [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(03\)00081-2](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(03)00081-2)
- Singh, B., Farenhorst, A., Gaultier, J., Pennock, D., Degenhardt, D., & McQueen, R. (2014). Soil characteristics and herbicide sorption coefficients in 140 soil profiles of two irregular undulating to hummocky terrains of western Canada [Article]. *Geoderma*, 232, 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.05.003>
- Turtola, E., Alakukku, L., Uusitalo, R., & Kaseva, A. (2007). Surface runoff, subsurface drainflow and soil erosion as affected by tillage in a clayey Finnish soil [Article]. *Agricultural and Food Science*, 16(4), 332-351. <https://doi.org/10.2137/145960607784125429>
- Tørresen, K. S., Brandsæter, L. O., Netland, J., Berge, T. W., Ringselle, B., & Strand, E. (2018). Alternativer til glyfosat i korn og grasmærk. NIBIO Rapport, 4(79), 66.
- Ulen, B., Alex, G., Kreuger, J., Svanback, A., & Etana, A. (2012). Particulate-facilitated leaching of glyphosate and phosphorus from a marine clay soil via tile drains. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 62, 241-251. <https://doi.org/10.1080/09064710.2012.697572>
- Vereecken, H. (2005). Mobility and leaching of glyphosate: a review. *Pest Management Science*, 61(12), 1139-1151. <https://doi.org/10.1002/ps.1122>

- Vuaille, J., Daraghmeh, O., Abrahamsen, P., Jensen, S. M., Nielsen, S. K., Munkholm, L. J., Green, O., & Petersen, C. T. (2020). Wheel track loosening can reduce the risk of pesticide leaching to surface waters. *Soil Use and Management*. <https://doi.org/10.1111/sum.12641>
- Wang, Y. J., Zhou, D. M., & Sun, R. J. (2005). Effects of phosphate on the adsorption of glyphosate on three different types of Chinese soils [Article]. *Journal of Environmental Sciences*, 17(5), 711-715. <Go to ISI>://WOS:000231642900002
- Warnemuende, E. A., Patterson, J. P., Smith, D. R., & Huang, C. H. (2007). Effects of tilling no-till soil on losses of atrazine and glyphosate to runoff water under variable intensity simulated rainfall. *Soil & Tillage Research*, 95(1-2), 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.09.001>
- Yang, X. M., Wang, F., Bento, C. P. M., Meng, L., van Dam, R., Mol, H., Liu, G. B., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2015). Decay characteristics and erosion-related transport of glyphosate in Chinese loess soil under field conditions [Article]. *Science of the Total Environment*, 530, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.082>
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M., & Zimmerman, A. R. (2012). Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*, 89(11), 1467-1471. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.06.002>

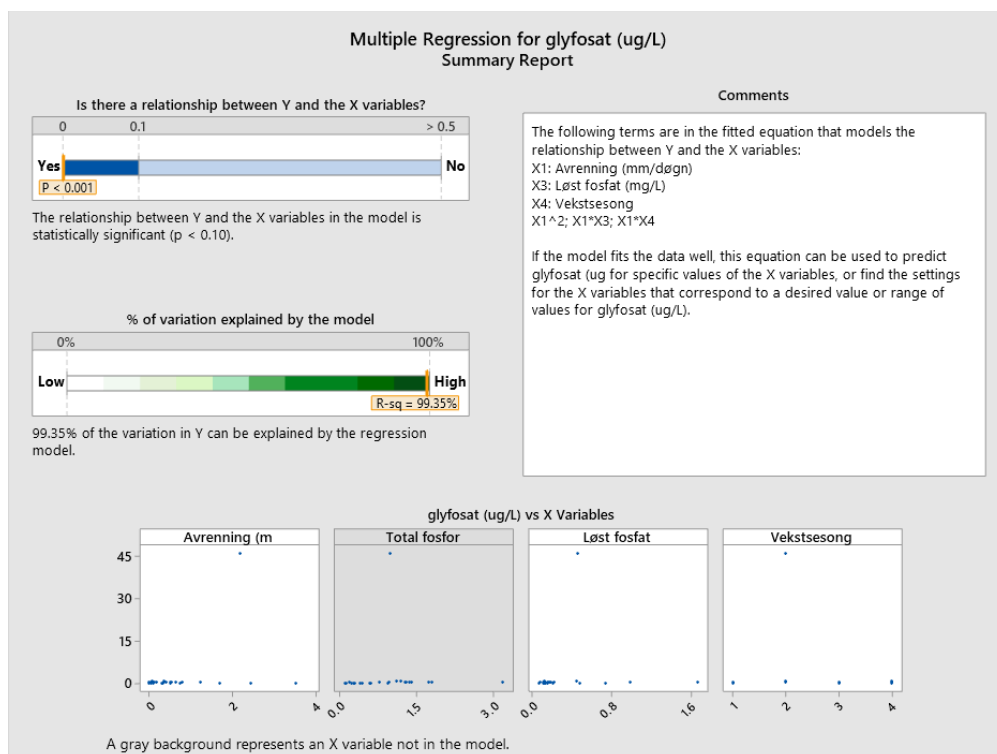
Vedlegg 1

Resultatfigurer for regresjonsanalyse av sammenhengen mellom avrenning av løst glyfosat og avrenning av vann, suspendert stoff, total fosfor og løst fosfat

Overflateavrenning Høstpløyd høstkorn

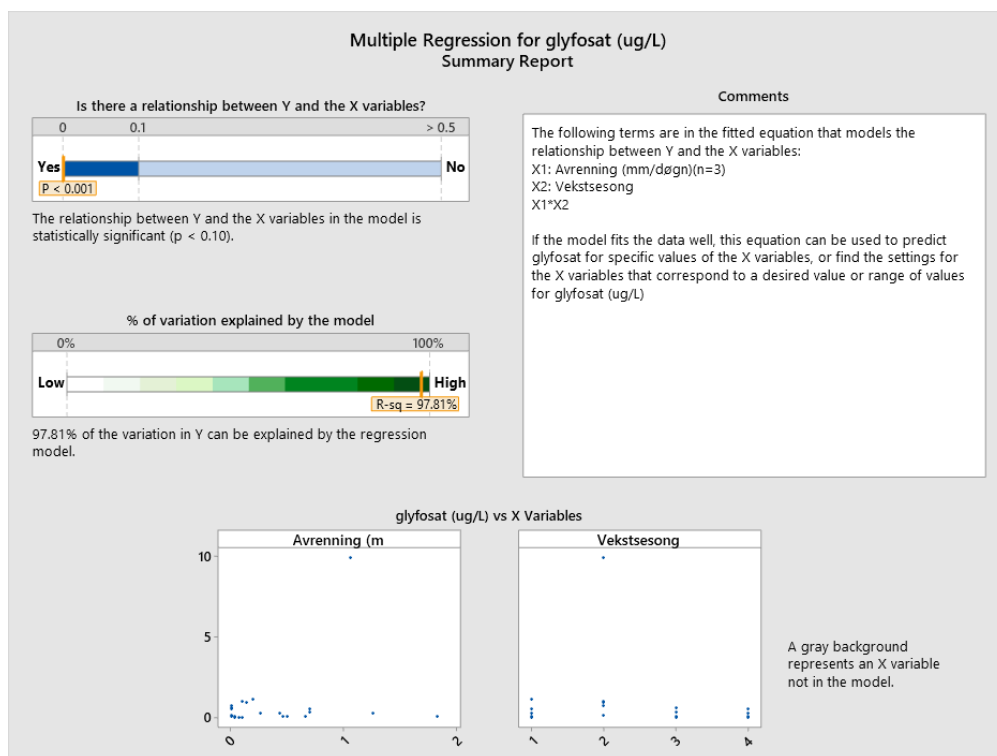


Figur S 1. Sammenhengen mellom overflateavrenningen av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) og avrenningen av vann for ulike forsøksår (vekstsesong 1-4) i høstpløyd høstkorn (HPHK). Avrenningen av overflatevann (mm/dag) og vekstsesong forklarer 96.99 % av variasjonen av glyfosatavrenningen. Inkludering av suspendert stoff (mean S) gir ikke noe bidrag til forklaringsverdien i modellen.



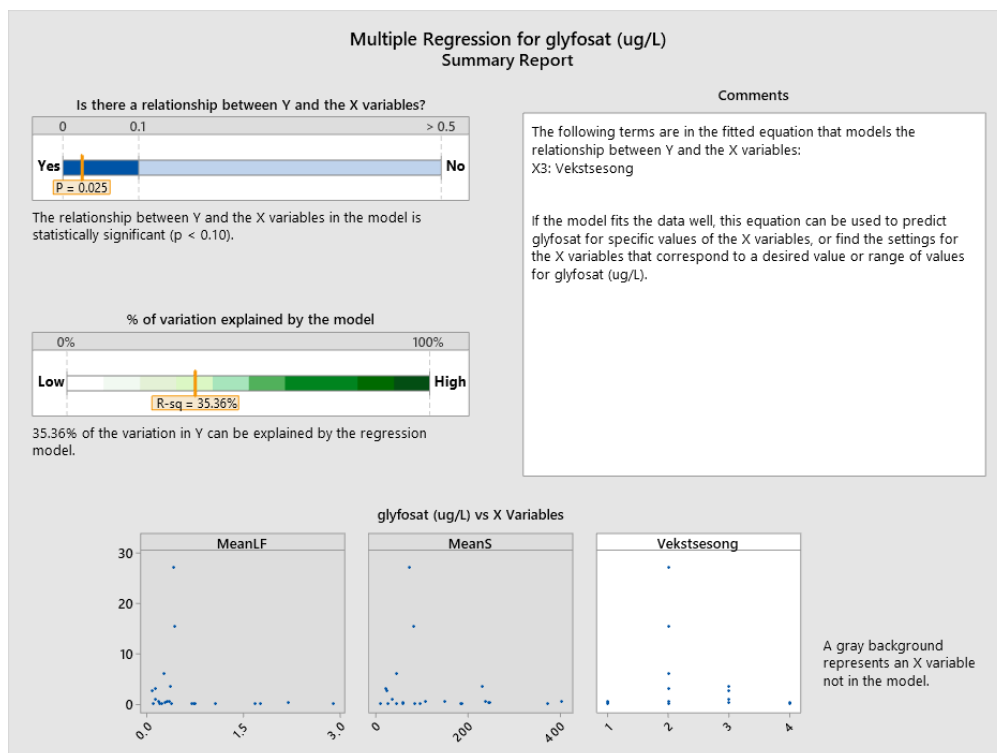
Figur S 2. Sammenhengen mellom overflateavrenningen av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$), avrenningen av vann (mm/dag) og løst fosfat (mg/L) for ulike forsøksår (vekstsesong 1-4) i høstpløyd høstkorn (HPHK). Avrenning av vann, vekstsesong og løst fosfat (mean LF) forklarer 99.35 % av variasjonen av glyfosatavrenningen. Inkludering av avrenningen av fosfor (mg/L) gir ikke noe bidrag til forklaringsverdien av modellen.

Høstpløyd vårkorn



Figur S 3. Sammenheng mellom avrenning av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) og avrenning av vann (mm/dag) for alle forsøksår (vekstsesong 1-4) i høstpløyd vårkorn (HPVK). Avrenning av vann for ulike vekstsesonger kan forklare 97.8 % av variasjonen til avrenningen av glyfosat ($p < 0.001$).

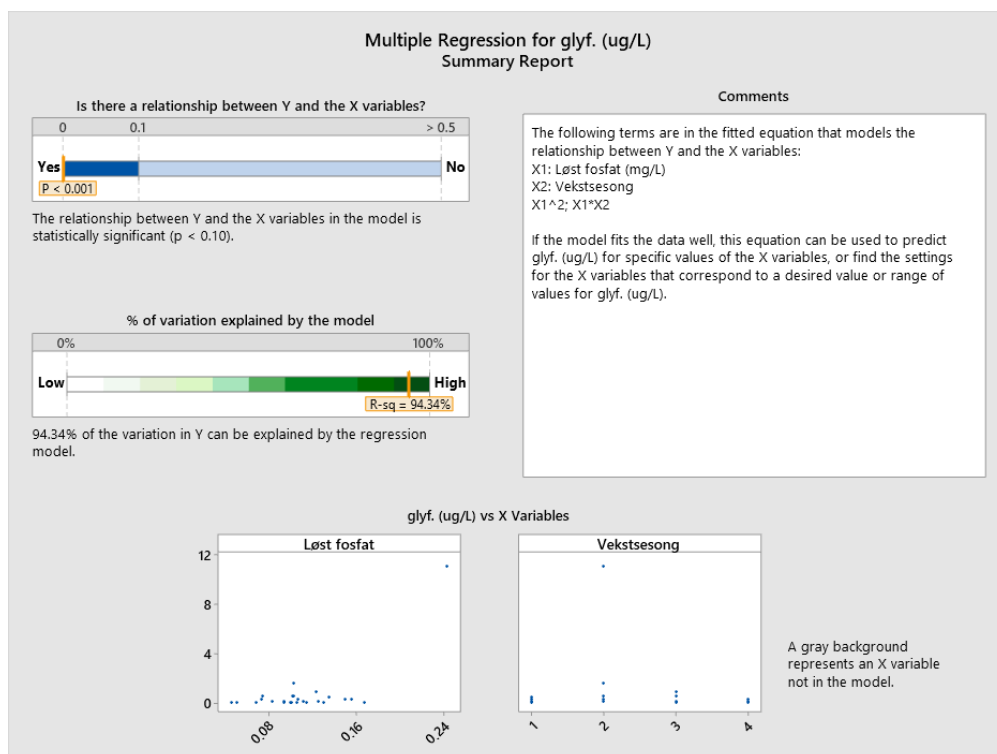
Vårpløyd vårkorn



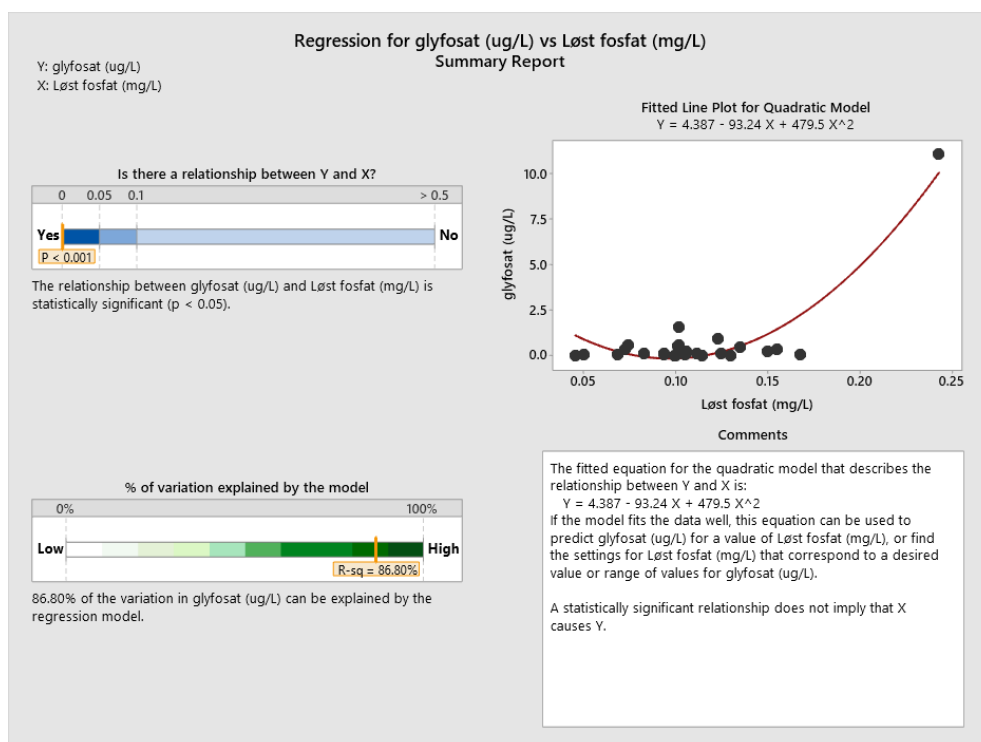
Figur S 4. Sammenheng mellom avrenning av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) og forsøksår (vekstsesong 1-4) i vårpløyd vårkorn (VPVK). 37.36 % av variasjonen i målte glyfosatkonsentrasjoner kan forklares ved hjelp av forsøksår ($p=0.025$). Avrenning av løst fosfat (MeanLF) og suspendert stoff (MeanS) ga ikke noe bidrag til forklaringsverdien av modellen.

Grøfteavrenning

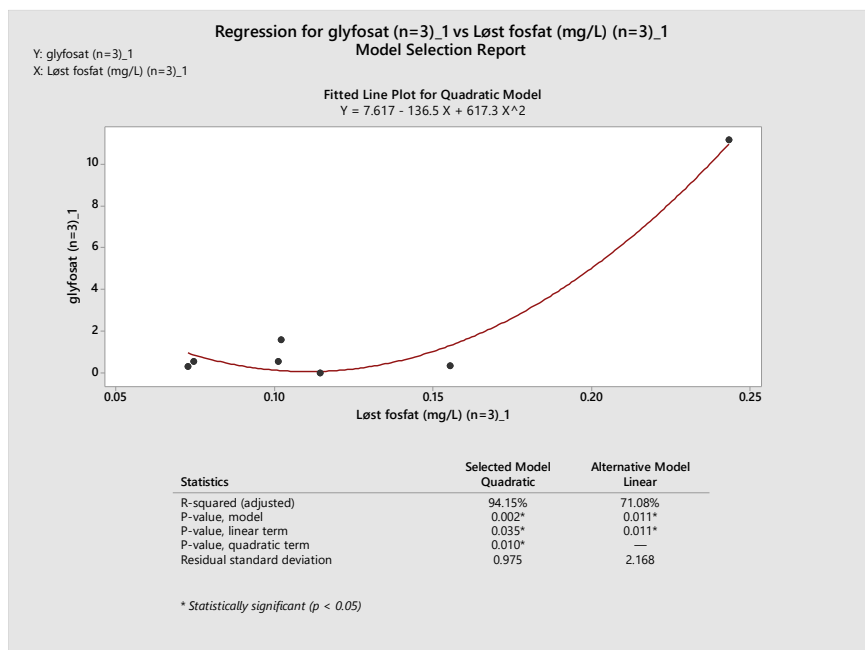
Høstpløyd høstkorn



Figur S 5. Resultat fra multipel regresjonsanalyse som viser sammenhengen mellom løst fosfat (LF) og løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) i grøftevannet fra ruter med høstpløyd høstkorn (HPHK) i perioden 2014-2018 (fire vekstsesonger). Modellen forklarer 94,34 % av variasjonen i målte konsentrasjoner av løst glyfosat.

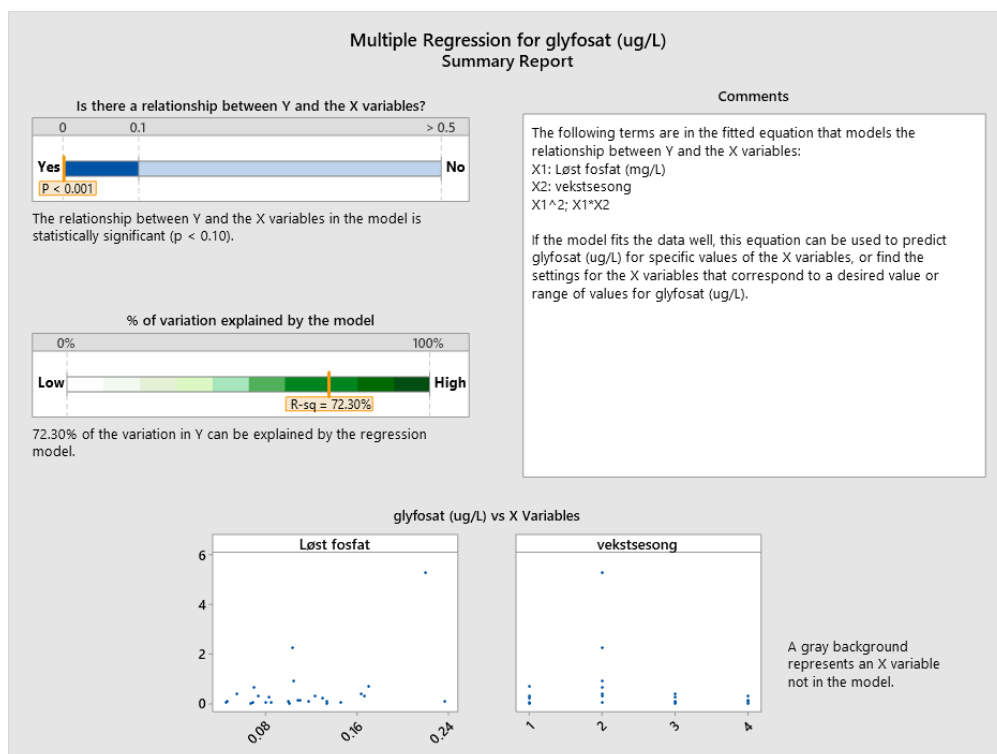


Figur S 6. Resultat fra enkel regresjonsanalyse som viser sammenheng mellom grøfteavrenningen av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) og løst fosfat (mg/L) for høstpløyd høstkorn (HPHK) samlet for hele forsøksperioden (2014-2018). Modellen forklarer 86,8 % av variasjonen i målte konsentrasjoner av løst glyfosat. Det er her ikke tatt hensyn til vekstsesong i analysen.

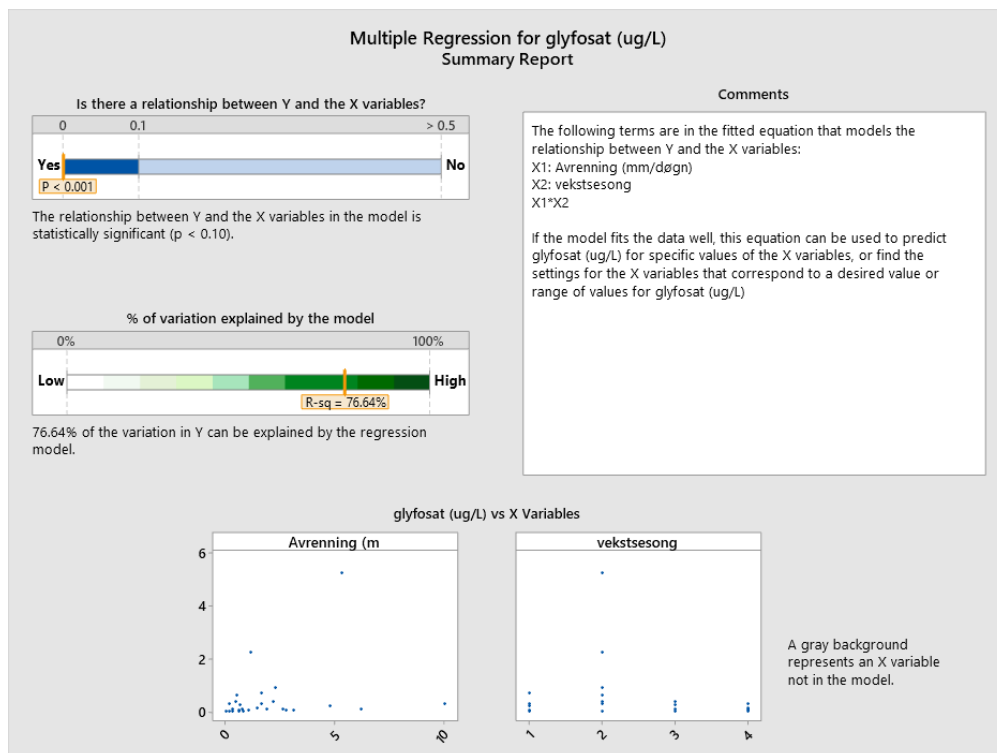


Figur S 7. Resultat av enkel regresjonsanalyse som viser sammenheng mellom avrenningen av løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) og løst fosfat (mg/L) for vekstsesongen 2015/2016 i høstpløyd høstkorn (HPHK). Modellen forklarer 94 % av variasjonen i målte konsentrasjoner av løst glyfosat.

Høstpløyd vårkorn

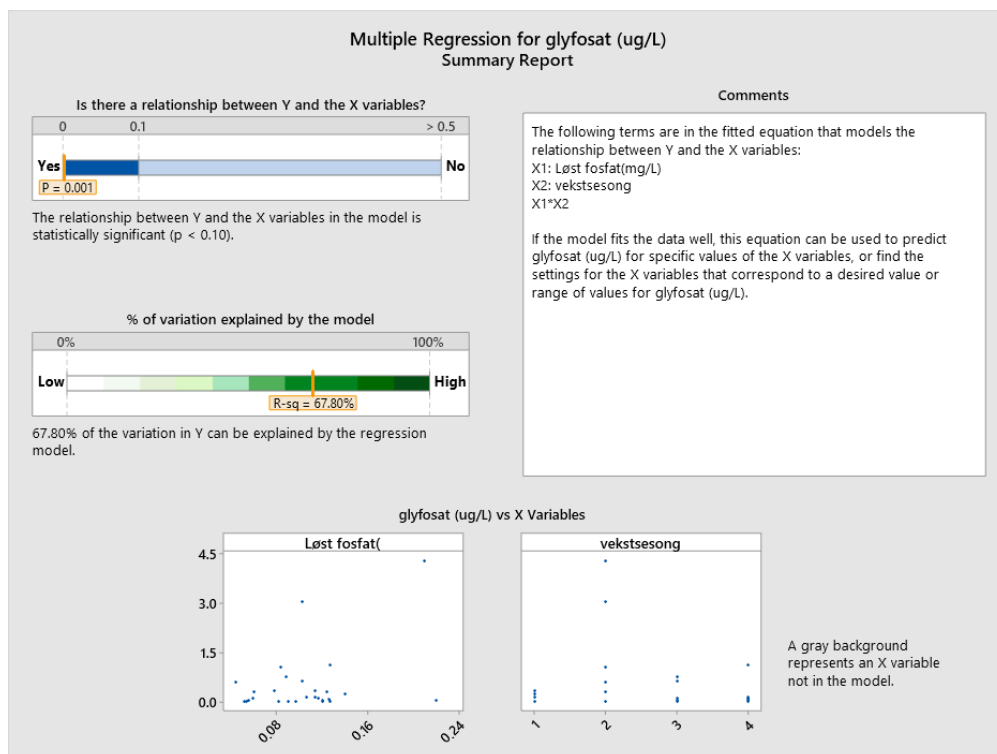


Figur S 8. Resultat av multiple regresjon som viser sammenhengen mellom løst glyfosat ($\mu\text{g/L}$) og løst fosfat i grøfteavrenning fra ruter med høstpløyd vårkorn (HPVK) i perioden 2014-2018 (fire vekstsesonger). Modellen kan forklare 72,3 % av variasjonen i målte konsentrasjoner av løst glyfosat.

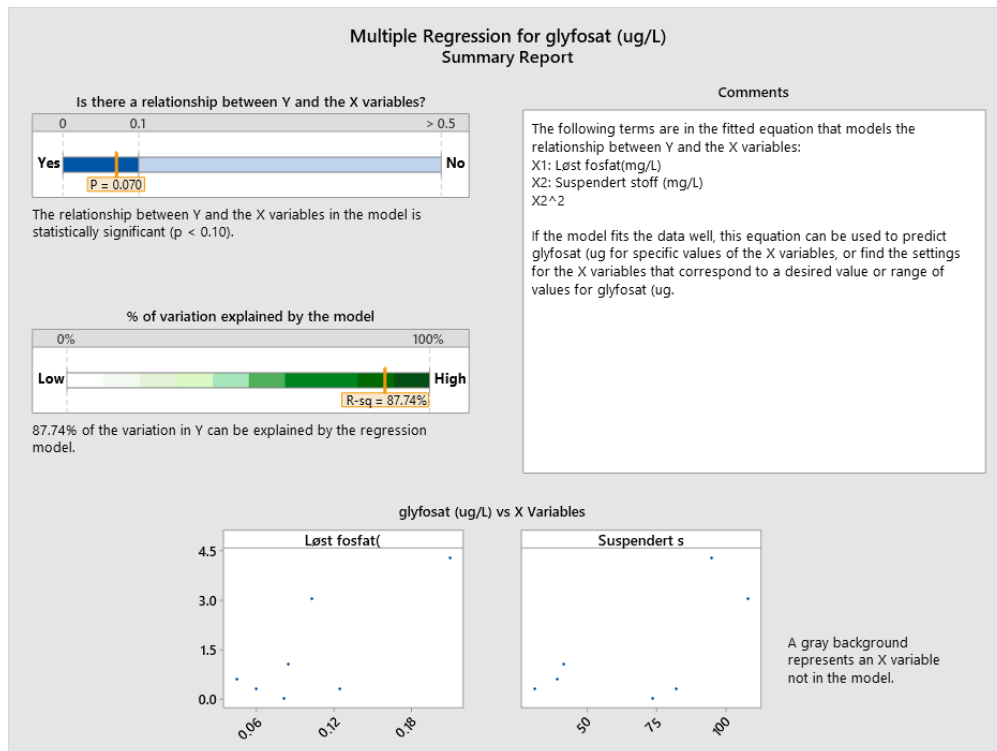


Figur S 9. Resultat av multiple regresjon som viser sammenheng mellom avrenning av løst glyfosat og mengde vann i grøfteavrenningen fra ruter med høstpløyd vårkorn for de ulike forsøksårene (vekstsesong 1-4). Modellen kan forklare 76,64 % av variasjonen i målte konsentrasjoner av løst glyfosat.

Vårpløyd vårkorn



Figur S 10. Resultat av multipel regresjonsanalyse som viser sammenheng mellom avrenning av løst glyfosat (ug/L) og løst fosfat (mg/L) i grøfteavrenning fra ruter med vårpløyd vårkorn for forsøksperioden 2014-2018 (vekstsesong 1-4). Forsøksår og løst fosfat kan forklare 67.80 % av variasjonen i målte konsentrasjoner av løst glyfosat (p<0.001).



Figur S 11. Resultat av multippel regresjonsanalyse for datasett fra forsøksåret 2015/2016 som viser sammenheng mellom løst glyfosat i grøfteavrenning og variablene løst fosfat ($\mu\text{g/L}$) og suspendert stoff (mg/L). Modellen forklarer 87,74 % av variasjonen i målte konsentrasjoner av løst glyfosat i grøfteavrenningen fra ruter med vårpløyd vårkorn.

Etterord

Vi takker Kjelle videregående skole for det gode samarbeidet og for alle bidrag til prosjektet.

Nøkkelord:	Jordarbeiding, klima, erosjon, suspendert stoff, fosfor, løst fosfat, nitrogen, plantevernmidler, ruteforsøk
Key words:	Soil tillage, climate, erosion, suspended sediments, phosphorus, phosphate, nitrogen, pesticides, runoff plots
Andre aktuelle publikasjoner fra prosjekt:	Bechmann, M., Starkloff, T., Eklo, O. M., & Tveiti, G. (2019). Kjelle avrenningsforsøk. Årsrapport 2017–2018 for jordarbeidingsforsøk på lav erosjonsrisiko. NIBIO Rapport.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.