



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Ugrasmidlet glyfosat - faktorer som påvirker transport fra jord til bekkevann

En analyse av data fra Program for jord- og vannovervåking  
(JOVA-programmet)

NIBIO RAPPORT | VOL. 7 | NR. 210 | 2021



Marianne Stenrød og Frederik Norheim Bøe

Divisjon Bioteknologi og Plantehelse/Divisjon Miljø og Naturressurser

**TITTEL/TITLE**

Ugrasmidlet glyfosat - faktorer som påvirker transport fra jord til bekkevann.  
En analyse av data fra Program for jord- og vannovervåking (JOVA-programmet)

**FORFATTER(E)/AUTHOR(S)**

Marianne Stenrød, Frederik Norheim Bøe

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
22.12.2021	7/210/2021	Åpen	2110184-5	20/01578
ISBN:		ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-02898-2		2464-1162	35	

**STIKKORD/KEYWORDS:**

glyfosat, sprøyting, miljøkonsentrasjoner,  
nedbør, avrenning, overvåkingsperiode

glyphosate, spraying, environmental  
concentrations, precipitation, run off, monitoring  
period

**FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:**

Plantevern, jordarbeiding, jord- og  
vannovervåking

Crop protection, soil tillage, soil and water  
monitoring

**SAMMENDRAG:**

Norsk sammendrag side 6.

**SUMMARY:**

An analysis of monitoring data for glyphosate in two cereal-dominated agricultural catchments in southeastern Norway from the periods 1997-2001 and 2016-2018, illustrates the complexity of factors that affect transport from soil to water and the need for a comprehensive dataset to be able to demonstrate statistically significant correlations. There has been a change in the use of glyphosate in cereal cropping areas during the monitoring period, and we generally see higher concentration levels in the period 2016-2018. However, there is great variation between years in the proportion of area sprayed, the location of the fields sprayed, the dosage sprayed, etc. at the same time as there are variations in weather and runoff conditions. The dataset is thus not comprehensive enough to give clear conclusions on what are driving factors, but illustrates that relatively different natural and operational conditions can give similar environmental concentrations of glyphosate in the agricultural stream.

However, the data material show examples of situations where one can measure particularly low or high concentrations on the basis of the time of precipitation in relation to spraying, incl. how precipitation that causes run-off shortly after spraying results in elevated glyphosate concentrations in the environment in the autumn, while snowmelt causes correspondingly elevated concentration levels in the spring. We also see that precipitation on partially frozen soil in winter can lead to elevated concentration levels in stream water.

The use of glyphosate in agriculture is under dispute and efforts are being made to find alternative solutions. However, existing Norwegian monitoring data does not indicate that the current use patterns will cause negative environmental effects. All detected concentrations of glyphosate through

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

the JOVA monitoring program are very low in relation to the concentrations that can be expected to have an effect in the environment.

LAND/COUNTRY: Norge  
FYLKE/COUNTY: Viken  
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Ås  
STED/LOKALITET: Ås

GODKJENT /APPROVED



ARNE HERMANSEN

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



MARIANNE STENRØD



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Forord

Handelspreparat med glyfosat er et av de meste brukte plantevernmidla i verden og også i Norge. Det har vært kontroverser og mye medieomtale de senere år knyttet til miljø- og helseeffekter ved den utbredte bruken av glyfosat. Fra NIBIOs ståsted, som landbruks- og miljøforskningssinstitutt, aktualiserer dette et behov for en sammenstilling av de dataene vi har bruk av glyfosat i vanlig norsk driftspraksis og hva vi måler av glyfosatkonsentrasjoner i miljøet som følge av denne bruken, samt en analyse av hvilke vær-, jord- og driftsforhold som påvirker dette.

Rapporten har som formål å belyse sammenhenger mellom miljøkonsentrasjoner av glyfosat i nedbørfelt og faktorer som påvirker de målte konsentrasjonene, inkludert værforhold (nedbørsintensitet og mengde), driftspraksis (høst- og vårpløying, areal i stubb m.m) og sprøytepraksis (areal sprøytet, mengde, tidspunkt for sprøyting).

En bedre forståelse for hvilke faktorer som påvirker funnkonsentrasjonene i miljøet er nødvendig for å kunne gi anbefalinger for en bærekraftig jordbruksdrift.

Det nasjonale overvåkingsprogrammet JOVA (Program for jord- og vannovervåking i landbruket) overvåker nedbørfelt som er representative for de ulike jordbruksproduksjonene og –regionene i Norge og er valgt ut mht. klima, jordsmonn, driftspraksis og intensitet. Her gjør vi en analyse av data om bruk og funn av glyfosat i de JOVA-feltene hvor glyfosat er særs viktig for ugrasbekjempingen, sett i sammenheng med data om værforhold, avrenning og driftsparametre. Rapporten beskriver overvåking av miljøkonsentrasjoner av glyfosat i bekkevann i de to periodene 1997-2000/2001 og 2016-2018 i to av nedbørfeltene i JOVA-programmet hvor kornproduksjon er dominerende og hvor det er årvisst bruk av glyfosat i ugrasbekjempingen; Skuterudfeltet og Mørdefeltet.

Ås, 22.12.21

Marianne Stenrød

# Innhold

Sammendrag .....	6
1 Innledning og problemstilling .....	8
1.1 Bakgrunn.....	8
1.2 Hypoteser .....	9
1.3 Ugrasmidlet glyfosat.....	9
2 Materiale og metode .....	12
2.1 JOVA overvåkingsfelt og -metodikk .....	12
2.1.1 Feltbeskrivelse.....	12
2.1.2 Vannprøvetaking.....	13
2.1.3 Kjemiske analyser av plantevernmiddel.....	13
2.2 Datamateriale og analysemetodikk.....	13
2.2.1 Statistiske analyser.....	14
2.2.2 Evaluering av miljøkonsentrasjoner .....	14
3 Resultat .....	15
3.1 Bruk av glyfosat i JOVA overvåkingsfelt.....	15
3.2 Funn av glyfosat i bekkevann i JOVA overvåkingsfelt .....	16
3.3 Sammenhenger mellom glyfosatkonsentrasjoner og andre faktorer totalt for overvåkingsperioden ....	18
3.3.1 Værforhold .....	18
3.3.2 Suspendert stoff, total-fosfor, løst fosfat og glyfosatkonsentrasjoner .....	19
3.3.3 Driftspraksis.....	19
3.4 Sammenhenger mellom glyfosatkonsentrasjoner og andre faktorer i første (1997-2000) og andre periode (2016-2018).....	20
3.4.1 Værforhold .....	20
3.4.2 SS, TP og PO4 og glyfosatkonsentrasjoner .....	21
3.4.3 Driftspraksis.....	22
3.5 Sesongvariasjoner og (ekstreme) episoder .....	22
4 Diskusjon .....	26
4.1 Evaluering av hypoteser .....	26
4.2 Forklaringsvariable for påviste konsentrasjoner av glyfosat .....	26
4.2.1 Værforhold .....	26
4.2.2 Driftspraksis.....	27
4.2.3 Vannkvalitetsparametre.....	28
4.3 Sesongvariasjoner og mulige effekter i miljøet .....	29
4.4 Konklusjoner.....	30
Litteraturreferanser.....	31

# Sammendrag

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. I november 2017 fikk glyfosat fornyet godkjenning i EU og Norge for fem nye år til 2022, men det har de senere år vært diskusjon omkring side-effektene ved bruken av glyfosat.

De spørsmålene som er belyst i denne rapporten omfatter: (1) Hva er de drivende faktorene for (høye) konsentrasjoner av glyfosat i bekkevann og ser vi noen endringer over tid?, (2) Hvordan påvirker nedbørs-/avrenningsmengde (ekstremvær) konsentrasjoner i bekkevann (fortynning)?, og (3) Når på året påvises de høyeste konsentrasjonene i bekkevann og hvilken risiko utgjør dette for akvatiske organismer (biologisk syklus)? Dataene som er analysert i denne rapporten er hentet fra det nasjonale overvåkingsprogrammet JOVA (Program for jord- og vannovervåking) og omfatter data fra to nedbørfelt som er dominert av kornproduksjon og hvor det foregår overvåking med hensikt på å kartlegge både erosjon og tap av næringsstoffer og plantevernmidler. Det inngår data for konsentrasjoner av glyfosat i bekkevann for perioden 1997-2001 og 2016-2018. I JOVA-overvåkingen blir glyfosat funnet i bekkevannsprøver i områder hvor midlet brukes jevnlig på større arealer. Midlet påvises normalt i lave konsentrasjoner som antas å ikke ha noen negative effekter i miljøet.

Vår analyse av overvåkingsdata for glyfosat i to korndominerte nedbørfelt i sørøst Norge i periodene 1997-2001 og 2016-2018, illustrerer kompleksiteten som påvirker transport fra jord til vann og behovet for et omfattende datasett for å kunne påvise statistisk signifikante sammenhenger. Analysene viser en statistisk signifikant økning både i bruk av glyfosat og i målte gjennomsnittskonsentrasjoner i bekkevann gjennom overvåkingsperioden for de to undersøkte feltene totalt sett. I begge feltene måler vi også høyere gjennomsnittlig og maksimal glyfosatkonsentrasjon i bekkevann i perioden 2016-2018 sammenliknet med perioden 1997-2001. Videre analyser viser imidlertid at det er vanskelig å identifisere noen klare drivende faktorer for forekomst av glyfosat i bekkevann, utover faktisk bruk av midlet i plantevernpraksis. Dette indikeres av de generelt svake korrelasjonene mellom påviste glyfosatkonsentrasjoner og de ulike faktorene som er undersøkt (areal sprøytet, tidspunkt for sprøyting eller jordarbeiding, nedbørmengde og -intensitet, avrenningsmengde).

Vi ser imidlertid at analyse av de to periodene 1997-2001 og 2016-2018 hver for seg gir noe sterkere sammenhenger. Det har vært en endring i bruk av glyfosat i kornområder gjennom overvåkingsperioden, og vi ser høyere konsentrasjonsnivåer i perioden 2016-2018. Det er imidlertid stor variasjon mellom år i andel areal som blir sprøytet, plassering av areal som sprøytes, mengde middel som benyttes til sprøytingen mv. samtidig som det er variasjoner i vær- og avrenningsforhold. Datasettet er dermed ikke omfattende nok til å gi klare konklusjoner på hva som er drivende faktorer, men illustrerer at relativt ulike naturgitte og driftsmessige forhold som vi har i de to undersøkte overvåkingsfeltene, kan gi relativt like konsentrasjoner av glyfosat i bekken

Våre analyser viser ingen statistisk signifikante forskjeller i påvist glyfosatkonsentrasjoner gjennom de ulike sesongene (vår, sommer, høst, vinter), på grunn av store variasjoner innenfor hver sesong. Dataene indikerer imidlertid noe høyere konsentrasjoner høst og vinter, som er forventet, da mye av glyfosatsprøytingen skjer om høsten samt at høst og vinterperioden antas å inkludere mye av nedbør- og avrenningsepisodene. De lave temperaturene høst, vinter og vår gjør også at nedbrytningen av glyfosat i jorda går langsomt. Vi antar at den biologiske aktiviteten er høyest om våren/sommeren og at de ulike organismene vil være i en mer sårbar tilstand i denne perioden. Ut fra dataene samlet inn i overvåkingen vil konsentrasjonene målt gjennom denne perioden utgjøre en svært lav risiko for vannlevende organismer. Småskalaforsøk viser videre at det kan forventes generelt lav risiko for effekter også ved ekstreme avrenningsepisoder om våren.

Glyfosat er omdiskutert og det jobbes for å finne alternative løsninger. Det er imidlertid ikke grunnlag i overvåkings- og forskningsdata under norske eller nordiske forhold for å si at avrenningen av glyfosat til overflatevann vil forårsake negative miljøeffekter. Alle påviste konsentrasjoner av glyfosat gjennom JOVA-overvåkingen er svært lave sett i forhold til de konsentrasjonene som kan forventes å ha en negativ effekt i miljøet.

# 1 Innledning og problemstilling

## 1.1 Bakgrunn

Yrkesbrukere av plantevernmidler skal anvende prinsippene for integrert plantevern (IPV) etter rammedirektivet for bærekraftig bruk av plantevernmidler (Direktiv 2009/128/EC) og plantevernmiddelforskriften (FOR-2015-05-06-455). Integrert plantevern er en overordnet strategi som kombinerer kjente metoder og teknikker for kontroll av planteskadegjørere. Kjemisk bekjempelse har en viktig plass i integrert plantevern, men skal fortrinnsvis kun benyttes hvis andre forebyggende og direkte tiltak ikke gir ønsket virkning, og hvis systematisk overvåking av planteskadegjørere og de naturlige kontrollfaktorene viser at dette er nødvendig.

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 om høsten). Mer informasjon om bruken av glyfosat i norsk jordbruk, og mulige alternativer, finnes i Tørresen et al. (2018). Midlet inngår også i hobbypreparater for bruk i privathager. I de senere år har side-effektene ved bruken av glyfosat blitt diskutert. Det internasjonale byrået for kreftforskning (IARC), underlagt verdens helseorganisasjon (WHO), vurderte at glyfosat trolig er kreftfremkallende, mens organer i EU (EFSA, det europeiske 'Mattilsynet', og ECHA, det europeiske kjemikaliebyrået) konkluderte med at glyfosat ikke klassifiseres som kreftfremkallende. I november 2017 fikk glyfosat fornyet godkjenning i EU og Norge for fem nye år til 2022 (Mattilsynet 2018).

Det nasjonale overvåkingsprogrammet JOVA (Program for jord- og vannovervåking i landbruket) overvåker nedbørfelt som er representative for de ulike jordbruksproduksjonene og -regionene i Norge og er valgt ut mht. klima, jordsmonn, driftspraksis og -intensitet. I JOVA-overvåkingen blir glyfosat generelt funnet i bekkevannsprøver i områder med jevnlig bruk av midlet på større arealer gjennom hele året, men i lave konsentrasjoner som antas å ikke ha noen negative effekter i miljøet. Skjebne og transport av glyfosat i miljøet er også undersøkt i flere forskningsprosjekter de seneste årene. Hovedfunnene er at glyfosat har lenger persistens i norsk miljø enn tidligere antatt og stoffet blir funnet i de fleste vannprøver som blir analysert i jordbruksområder hvor det er jevnlig bruk av midlet (på større areal). De påviste konsentrasjonene er imidlertid i hovedsak lave og antas å ikke ha noen negative effekter i miljøet. Prøvetaking og analyse av dremsvann og overflateavrenning på mindre ruteforsøk etter sprøyting med glyfosat indikerer imidlertid at man ved ugunstige værforhold (mye nedbør) kort tid etter sprøyting og jordarbeiding kan få relativt høye tap av midlet og dermed høye tilførsler til overflatevann i korte perioder spesielt om høsten.

De spørsmålene som er forsøkt belyst i denne rapporten omfatter:

- Hva er de drivende faktorene for (høye) glyfosatkonsentrasjoner i bekkevann og ser vi noen endringer over tid?
- Hvordan påvirker nedbørs-/avrenningsmende (ekstremvær) glyfosatkonsentrasjoner i bekkevann (fortynning)?
- Når på året påvises de høyeste konsentrasjonene og hvilken risiko utgjør dette for vannlevende organismer (biologisk syklus)?



## 1.2 Hypoteser

Rapportens formål er forsøkt belyst gjennom følgende hovedhypotese med delhypoteser knyttet til aktuelle påvirkningsfaktorer:

### Hovedhypotese:

Økt bruk av glyfosat gjennom overvåkingsperioden på grunn av redusert jordarbeiding har sammen med endring i nedbør/avrenning gitt økte glyfosatkonsentrasjoner i bekken

### Generelle delhypoteser:

H1-1: Glyfosatkonsentrasjoner (maks og gj.snitt) i perioden 2016-2018 var høyere enn i perioden 1997-2000

H1-2: Bruk av glyfosat var høyere i perioden 2016-2018 sammenlignet med i perioden 1997-2000

H1-3: Nedbør og avrenning var høyere i perioden 2016-2018 sammenlignet med i perioden 1997-2000

### Delhypoteser værforhold:

H2-1: Antall flomtopper er styrende for høye glyfosatkonsentrasjoner i bekken.

H2-2: Nedbør- og avrenningsintensitet er positivt korrelert med glyfosatkonsentrasjoner

H2-3: Høye glyfosatkonsentrasjoner i første prøver tatt etter sprøyting der det kommer mye nedbør kort tid etter sprøyting.

### Delhypotese sesongvariasjoner:

H3-1: Maksimale glyfosatkonsentrasjoner forekommer vår og høst/tidlig vinter og er forbundet med økt ekstrem nedbør og/eller økt avrenning

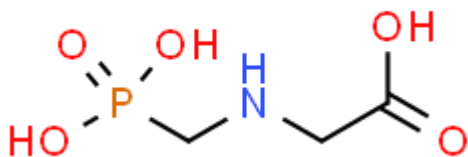
### Delhypotese sprøytepraksis:

H4-1: Antall dager mellom sprøyting og målbare glyfosatkonsentrasjoner er negativt korrelert

## 1.3 Ugrasmidlet glyfosat

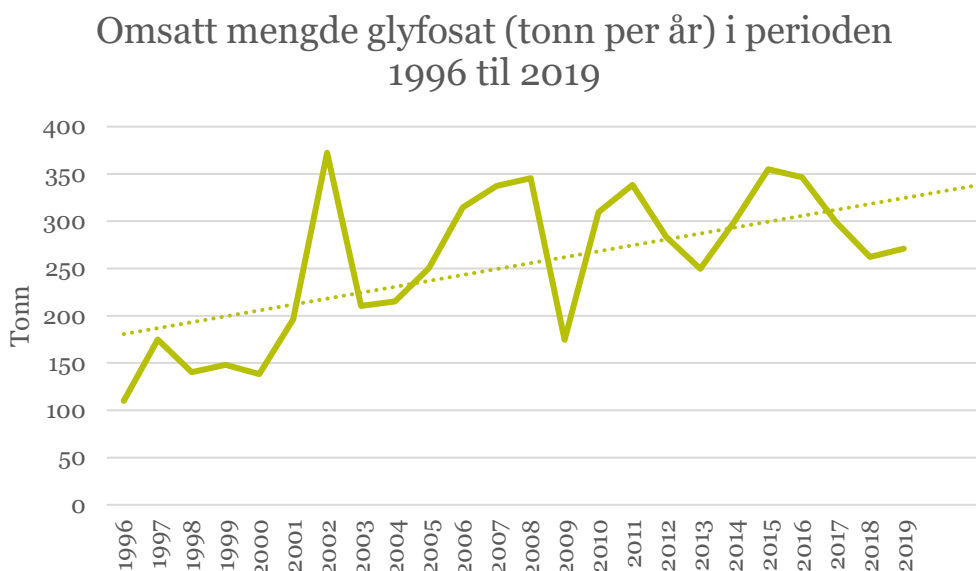
### Egenskaper og bruksmønster

Glyfosat er et ikke-selektivt, systemisk ugrasmiddel som er mye brukt til bekjemping av kveke og annet ugras i bygg, havre, oljevekster, høst- og vårhvete ved sprøyting etter at kornet er høstet, samt i moden byggåker (Aarstad & Bjørlo, 2019). Midlet brukes også til flekksprøyting, nedsviing av utløpere i bærproduksjon og inngår i flere hobbypreparater for bruk i privathager. Virkemåten til glyfosat er knyttet til at stoffet hemmer et enzym i plantene (her: ugraset) som lager aminosyrer. Figur 1 viser molekylstrukturen til glyfosat. Glyfosat er et derivat av aminosyren glysin og inneholder karbon-fosfor binding.



Figur 1. Molekylstruktur glyfosat. Kilde: Chemspider.com

Firmaet Monsanto kommersialiserte glyfosat under handelsnavnet Roundup i 1970. Etter at patentrettighetene på produksjonen til Monsanto gikk ut i 2000 har flere produsenter og flere handelspreparater (Glyfonova, Ecoplugg etc.) kommet på markedet. Preparater med glyfosat er blant de mest brukte plantevernmidlene i verden. I Norge har det vært en økning i omsetningstallene fra ca. 70 tonn pr år i perioden 1982-1986 (Stenrød et al, 2007) til ca. 306 tonn pr år i perioden 2015 til 2019 (Mattilsynet, 2020). Figur 2 viser omsatt mengde glyfosat i Norge i perioden 1996 til 2017.



Figur 2. Omsatt mengde glyfosat i Norge (tonn per år) i perioden 1996 til 2019 (Kilde: Mattilsynet, 2020).

### **Skjebne i miljøet - binding, nedbrytning, effekter i miljøet**

Glyfosat brytes lett ned i jord og vann gjennom co-metabolsk mikrobiell nedbrytning (Rueppel et al, 1977). Tabell 1 viser en halveringstid i jord og vann på henholdsvis 15 og ca. 10 dager i studier gjennomført i laboratoriet. I felt kan derimot nedbrytningen gå saktere, ettersom glyfosat bindes sterkt til jordpartikler og dermed blir utilgjengelig for nedbrytning av mikroorganismer.

Tabell 1. Nedbrytning i jord og vann, fordelingskoeffisient og miljøfarlighet av glyfosat. (Kilde: Lewis et al, 2016.)

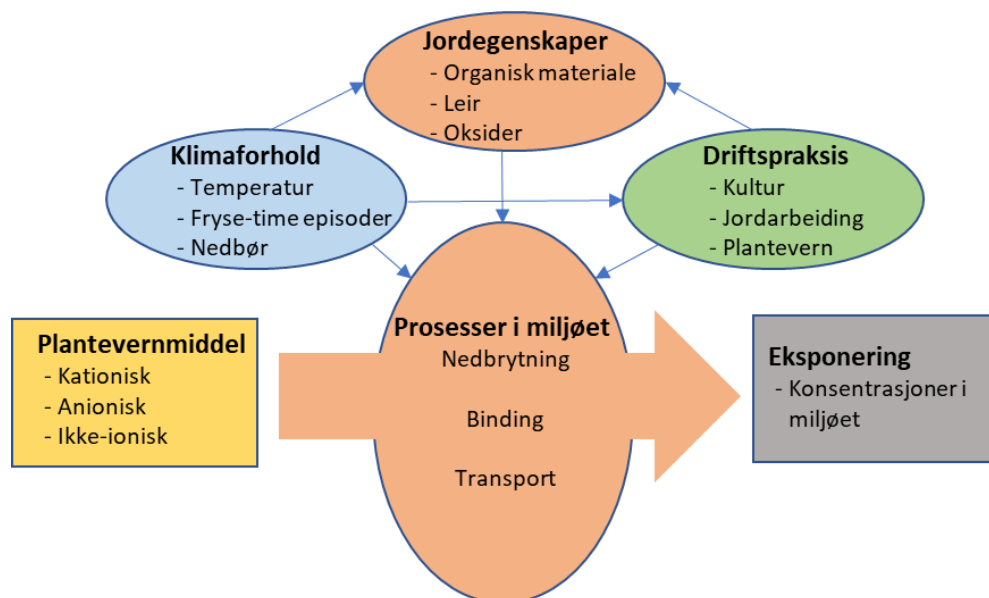
Middel	Binding i jord (mL/g)	Halveringstid i jord (DT <sub>50</sub> ; d)	Halveringstid i vann (DT <sub>50</sub> ; d)	Effektkonsentrasjoner i vann (NOEC; µg/L)
Glyfosat	K <sub>f</sub> = 226,3 (1/n=0,86) K <sub>foc</sub> = 16331	16	9,9	1000

NOEC: No-effect concentration. Høyeste konsentrasjonsnivå hvor det ikke er observert negative effekter i kronisk toksisitetstest. K<sub>f</sub>: Freundlich sorpsjonskoeffisient. K<sub>foc</sub>: Freundlich sorpsjonskoeffisient justert for innhold av organisk materiale i jord.

Mineraljord med kationer (Fe, Al) reagerer med glyfosat og danner forbindelser som brytes sakte ned. I jord med lav pH blir binding av glyfosat til jordpartikler en viktig prosess (Helander et al, 2012). Glyfosat kan også bindes til organisk materiale (Piccolo et al, 1996.). Langsom nedbrytning og økt persistens av glyfosat i jord er rapportert under lave temperaturer med frost (Stenrød et al, 2005). Helander et al. (2012) peker på at bakterier (f.eks. Pseudomonas) som bryter glyfosat ned til CO<sub>2</sub> og

NH<sub>3</sub> er sensitive overfor temperatur, pH og fuktighet i jord slik at nedbrytningen i våre nordlige økosystem blir redusert. Fosfat og glyfosat har mange av de samme bindingsmekanismene og vil derfor konkurrere om bindingsplasser på jordpartiklene (Gimsing & Borggaard, 2002).

Flere faktorer spiller inn på hvordan glyfosat transporteres, bindes og blir brutt ned i miljøet. Figur 3 viser hvordan faktorer som egenskapene til plantevernmidler (f.eks halveringstid), vær og klima, jordegenskaper og dyrkingssystem påvirker hvilke konsentrasjoner av plantevernmidler som forekommer i miljøet.



Figur 3. Eksponering i miljøet og faktorer som påvirker transport, binding og nedbrytning av plantevernmidler (Tilpasset etter O.M. Eklo, upubl.)

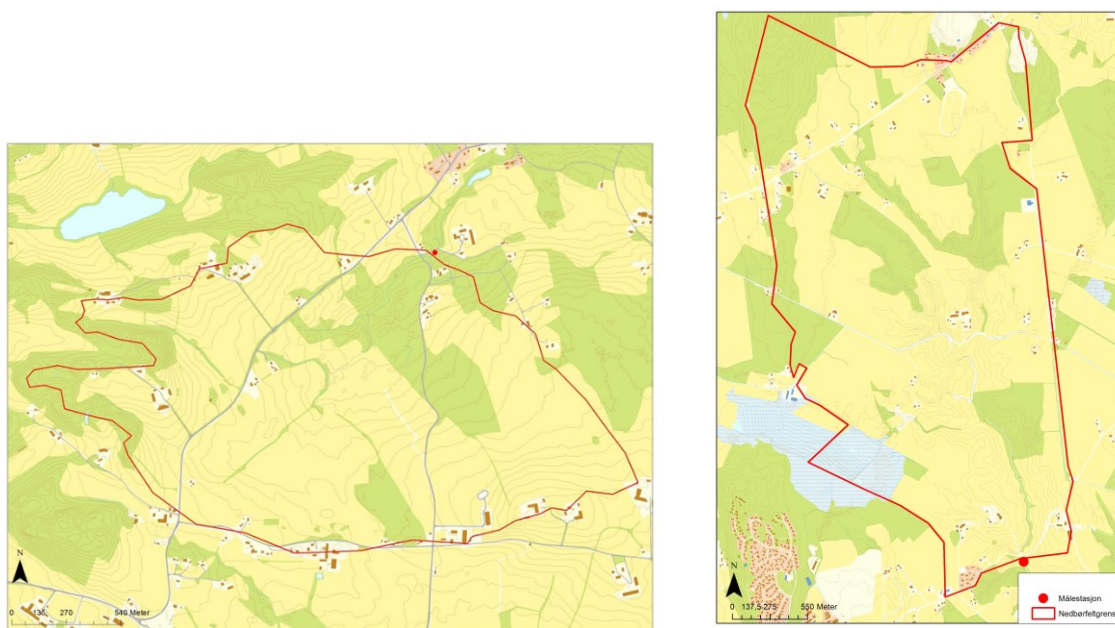
Det er et mål at kjemiske plantevernmidler i størst mulig grad skal forsvinne fra det biologiske systemet når de har hatt sin tilsiktede virkning på skadegjørere. De skal dermed ikke finnes igjen i mengder av betydning i jord, grunnvann eller overflatevann. Grunnet utbredt bruk på store arealer er glyfosat et plantevernmiddel som ofte påvises ved analyse av bekkevann i jordbruksområder. En nylig litteraturgjennomgang med fokus på miljø- og helseeffekter av glyfosat (Van Bruggen et al, 2018), peker på mulige utfordringer knyttet til helseeffekter på dyr grunnet påvirkning av langvarige, lave konsentrasjoner (av glyfosat), selv om det er lite sannsynlig med akutt giftighet av stoffet. Intensiv bruk av glyfosat kan føre til utvikling av resistente ugraspopulasjoner og mikroorganismer, og van Bruggen et al. (2018) framsetter en hypotese om at glyfosat kan ha en effekt på utvikling av antimikrobiell resistens i miljøet. Mye av grunnlagsmaterialet for denne litteraturgjennomgangen er fra områder med intensiv bruk av glyfosat, inkludert bruk ved dyrking av glyfosatresistente kulturer. Denne problemstillingen er dermed lite relevant i dagens norske jordbruk, men setter likevel et viktig fokus på behovet for å minimere bruken av plantevernmidler for derved å minimere risikoen for utilsiktede side-effekter.

## 2 Materiale og metode

### 2.1 JOVA overvåkingsfelt og -metodikk

#### 2.1.1 Feltbeskrivelse

Datagrunnlaget for denne rapporten er hentet fra Program for jord- og vannovervåking (JOVA) og omfatter data fra de to nedbørfeltene som er dominert av kornproduksjon hvor det foregår overvåking med fokus på både erosjon og tap av næringsstoffer og plantevernmidler (Figur 4 og Tabell 2).



Figur 4. Kartutsnitt over nedbørfeltene Skuterud (venstre) og Mørdre (høyre)

Tabell 2. Nøkkelinformasjon om de studerte nedbørfeltene.

Nedbørfelt	Kommune	Areal (km <sup>2</sup> )	Dyrka (%)	Temp (°C)	Nedbør (mm)	Jordart	Driftsform	Startår	Omfang
Skuterud	Ås	4,5	61	5,5	785	Siltig m.leire	Korn	1993	N+E+PLV (fra 1995)
Mørdre	Nes	6,8	65	4,3	665	Silt og leire	Korn	1990	N+E+PLV (fra 1996)

N: næringsstoff (nitrogen, fosfor). E: erosjon (suspendert stoff), PLV: plantevernmidler

Det jordbruksdominerte nedbørfeltet Skuterud ligger i Ås kommune i Akershus (Viken) og har vært med i JOVA-programmet siden 1994. Jordbruksarealet (2770 daa) utgjør 60 % av det totale nedbørfeltarealet på 4,5 km<sup>2</sup> og feltet domineres av korndyrking. Jordmonnet består av siltig mellomleire fra marine avsetninger og noe morene. Normaltemperaturen for perioden 1961-1990 var 5,3 °C, mens normalnedbøren i samme periode var 785 mm. Området er karakterisert av varme somre og ustabile vintre.

Mørdrefeltet ligger i Nes kommune i Akershus (Viken). Det totale nedbørfeltarealet er 6,8 km<sup>2</sup> der 65 % av arealet er jordbruk (4440 daa). Jordbruksarealet består for det meste av kornproduksjon med noe potet, eng og beite. Det er et landskap med ravinedaler hvor jordsmonnet er siltavsetninger over leire og store arealer er bakkeplanert. Normalnedbøren er 665 mm og området er karakterisert av innlandsklima.

### 2.1.2 Vannprøvetaking

Det tas ut vannføringsproporsjonale blandprøver ca. hver 14 dag og analysert for plantevernmidler, suspendert stoff, total-fosfor, løst fosfat, total-nitrogen og nitrat. Metodikken for vannprøvetaking i Skuterud og Mørdre er den samme.

### 2.1.3 Kjemiske analyser av plantevernmiddel

JOVA-overvåkingen inkluderer rutinemessig analyse for ca. 110 ulike plantevernmidler (NIBIO, 2020) i bekkevann gjennom vekstsesongen.

Glyfosat krever spesialanalyse som ikke inngår i de rutinemessige analysene som gjennomføres hvert år. Resultater for konsentrasjoner av glyfosat i bekkevann er derfor begrenset til spesialundersøkelser som er gjennomført i perioden 1997-2001 og 2014/2016-2018.

## 2.2 Datamateriale og analysemetodikk

Gjennom JOVA-programmet overvåkes konsentrasjoner av plantevernmidler i bekker i jordbruksdominerte nedbørfelt gjennom vekstsesongen. Det måles avrenning og tap av næringsstoffer og suspendert stoff i bekken gjennom hele året. Samtidig samles det inn informasjon om driftspraksis (bl.a. gjødsling, sprøyting og jordarbeiding), samt at det registreres nedbør i nedbørfeltet til jordbruksbekken. Detaljer om metodikken i JOVA-programmet finner du på [www.nibio.no/jova](http://www.nibio.no/jova).

Denne rapporten baserer seg i hovedvekt på analyser fra JOVA med data fra nedbørsfeltene Skuterud og Mørdre. Følgende datauttrekk fra JOVA databasen har blitt foretatt i overvåkingsperioden fra disse nedbørfeltene:

- Bruk og funn av glyfosat
- Nedbør og avrenning
- Driftspraksis
- Næringsstoffer (suspendert stoff, total fosfor og fosfat)

Det er valgt å analysere data med hensyn til følgende tidsperioder:

- Overvåkingsperioden 1997-2018 samlet
- Periodene 1997-2001 og 2016-2018 separat
- Årstider (vår, sommer, høst, vinter)

Det er benyttet glyfosatdata fra Skuterudfeltet prøvetatt i periodene 1997-2000 og 2016-2018, samt for Mørdre prøvetatt i periodene 1998-2001 og 2016-2018. Alle statistiske analyser er foretatt på log 10 formaterte data for å oppfylle krav om normalfordeling.

Tabell 3 viser faktorer som er tilgjengelig og benyttet i tolkningen av data.

Tabell 3. Tilgjengelig data benyttet i studien for å forstå funn og betydningen av ulike påvirkningsfaktorer.

Parameter	Detaljer
Nedbør	dato, mengde/intensitet, varighet
Avrenning	dato, mengde/intensitet, varighet
Sprøyting med glyfosat	dato, mengde, skifte, areal
Glyfosatfunn	dato, mengde/konsentrasjon
Suspendert stoff (SS)	dato, mengde/konsentrasjon, vannføringsveid konsentrasjon
Fosfor (total P og PO4)	dato, mengde/konsentrasjon, vannføringsveid konsentrasjon

### 2.2.1 Statistiske analyser

Alle analyser er foretatt i Rstudio. Korrelasjonsanalyser er foretatt på glyfosatdata etter log transformering for å oppnå normalfordeling. Kendall's tau ble benyttet for å estimere korrelasjonen mellom to datasett, der 0 indikerer ingen sammenheng, og 1 indikerer fullstendig sammenheng.

T-test er benyttet for å vurdere om gjennomsnitt av verdier i datasett er statistisk forskjellige fra hverandre. Dersom  $p \leq 0,05$  er gjennomsnittsverdiene for de to datasettene signifikant forskjellige.

### 2.2.2 Evaluering av miljøkonsentrasjoner

Overvåkingen gjennom JOVA-programmet viser mange funn av plantevernmiddelester i bekkevann, og det er utarbeidet såkalte miljøfarlighetsverdier (MF-verdier) for å kunne foreta en risikovurdering ved påvisning av plantevernmiddelester i overvåkingsprøvene fra jordbruksbekker.

MF-verdiene er utarbeidet i henhold til retningslinjene for miljøkvalitetsstandarder for prioriterte stoffer under Vannforskriften (EC, 2011). Toksistetsdataene som benyttes til å utarbeide MF-verdiene, hentes fra åpne kilder med data fra godkjenningen av plantevernmidler (Lewis et al, 2016; DG SANCO 2019) og andre toksistetstester (bl.a. USDA National Institute of Food and Agriculture 2013). Vi benytter data fra kroniske toksistetstester, NOEC (no-effekt-concentration) verdier, i beregningen og velger da data for den mest sensitive vannlevende testorganismen. Avhengig av kvaliteten på datagrunnlaget velges så en sikkerhetsfaktor mellom 5 og 1000 for MF-verdien. MF-verdiene som benyttes i risikovurderingen publiseres på [www.nibio.no/jova](http://www.nibio.no/jova), under tema Plantevermidler.

Sist oppdaterte MF-verdi for glyfosat er 100 µg/L, og er beregnet ut fra en toksistetstest som angir NOEC 1000 µg/L fra toksistetstest med fisk og med en sikkerhetsfaktor lik 10.

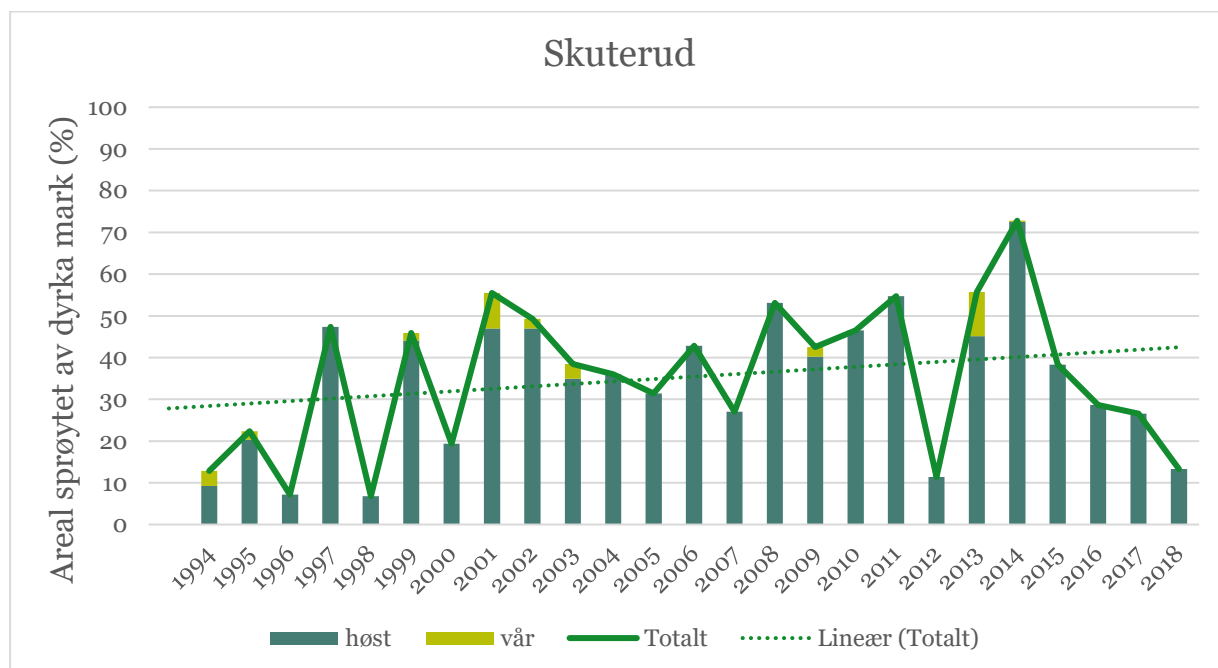
Risikoen vurderes ut fra metodikk anbefalt av Vitenskapskomiteen for mat og miljø (VKM 2012), med følgende gradering ift. overskridelse av MF-verdi:

- Svært stor risiko mer enn 500 % av grenseverdi
- Betydelig risiko 300 – 500 % av grenseverdi
- Middels risiko 150-300 % av grenseverdi
- Moderat risiko 100-150 % av grenseverdi
- Minimal risiko ingen overskridelser av grenseverdi.

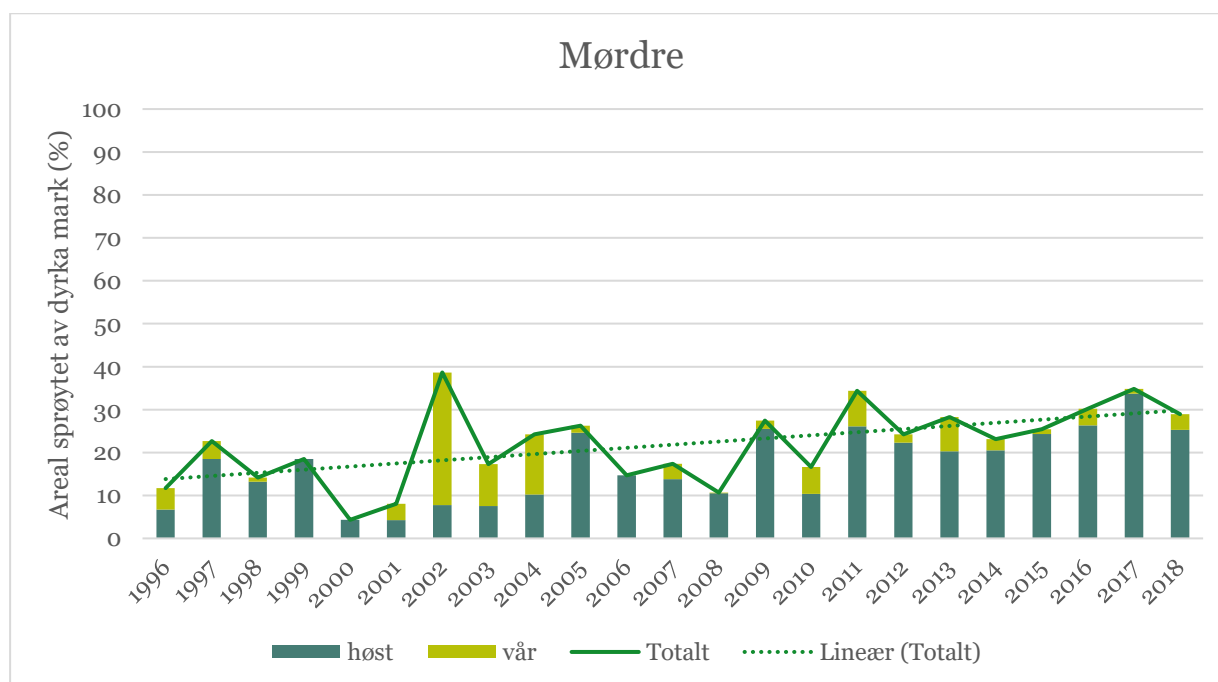
## 3 Resultat

### 3.1 Bruk av glyfosat i JOVA overvåkingsfelt

Figur 5 og 6 viser areal sprøytet med glyfosat høst eller vår i prosent av dyrket mark i henholdsvis Skuterudfeltet og Mørdrefeltet. Det er en tendens til økende bruk gjennom overvåkingsperiodene, men i Skuterudfeltet er glyfosatbruken redusert hvert år siden 2015.

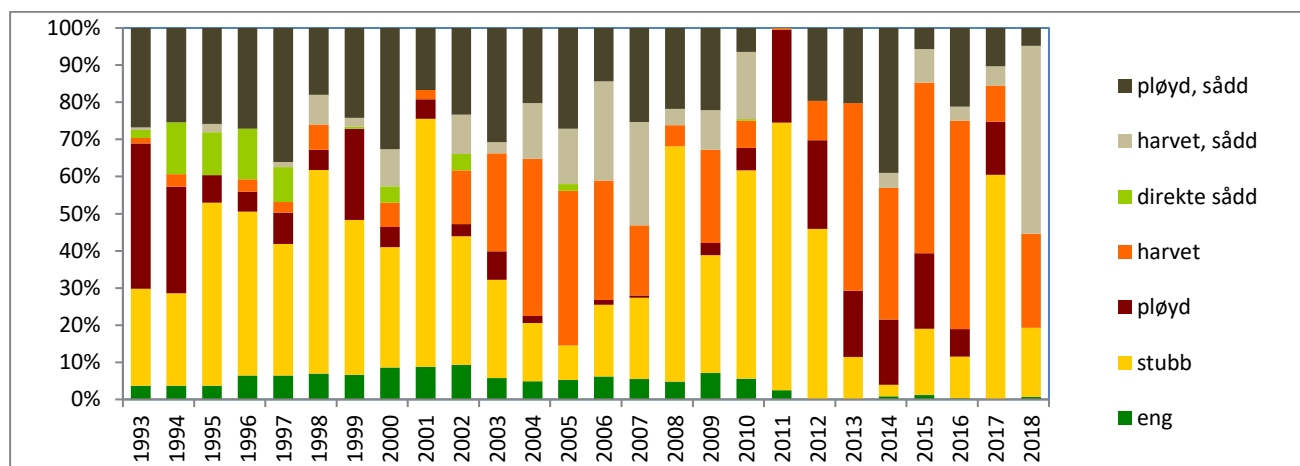


Figur 5. Bruk av glyfosat i Skuterudfeltet gjennom overvåkingsperioden i JOVA 1994-2018. Presentert som % av dyrka mark sprøytet.

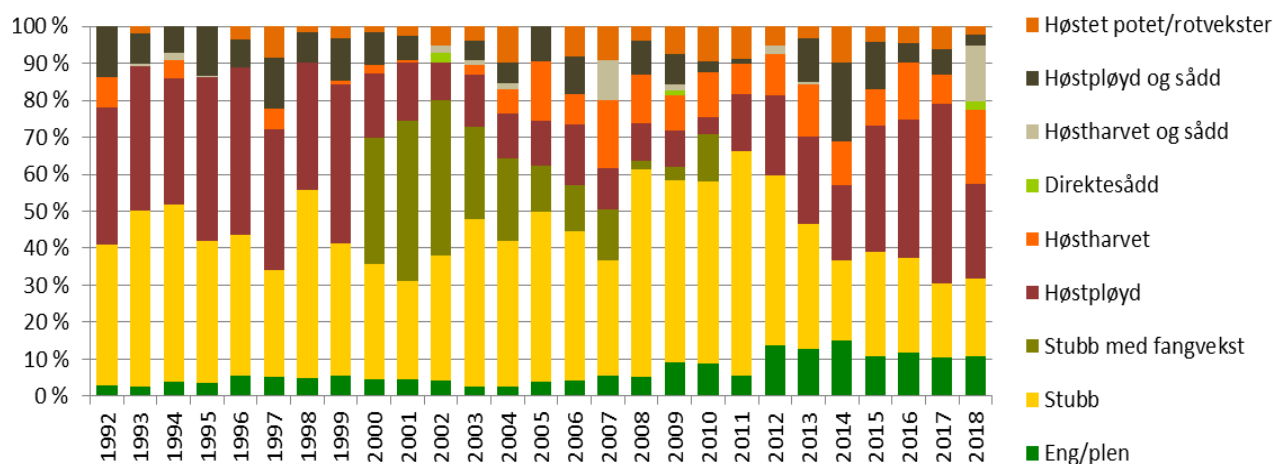


Figur 6. Bruk av glyfosat i Mørdrefeltet gjennom overvåkingsperioden i JOVA 1994-2018. Presentert som % av dyrka mark sprøytet.

En analyse av sammenhengen mellom glyfosatbruk og omfang av redusert jordarbeiding gjennomført med data fra Skuterudfeltet for perioden 1996-2016 (upubl.) viser at redusert (plogfri) jordarbeiding med overvintring i stubb gir økt glyfosatbruk. Vi ser at 62 % av areal som overvintrer i stubb for så å vårharves sprøytes med glyfosat om høsten, mens tilsvarende andel for stubbareal som vårpløyes er 37 %. Av areal som pløyes eller harves om høsten er det henholdsvis 20 og 23 % som også sprøytes med glyfosat om høsten. Arealtilstand om høsten gjennom overvåkingsperioden for overvåkingsfeltene er vist i Figur 7 og 8.



Figur 7. Arealtilstand om høsten i Skuterudfeltet gjennom overvåkingsperioden 1992-2019 (Kilde: Bechmann et al, 2021).



Figur 8. Arealtilstand om høsten i Mørdrefeltet gjennom overvåkingsperioden 1992-2019 (Kilde: Bechmann et al, 2021).

### 3.2 Funn av glyfosat i bekkevann i JOVA overvåkingsfelt

Tabell 4 viser gjennomsnittlig og maksimal konsentrasjon av glyfosat målt i bekkevann i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet. Gjennomsnittkonsentrasjonen for alle målinger i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet var 0,35 µg/L. Påviste konsentrasjoner var svært lave sett i forhold til konsentrasjonsivåer som antas å kunne ha en negativ effekt i miljøet ( $MF_{glyfosat} = 100 \mu\text{g/L}$ ).



**Tabell 4. Gjennomsnitt- og makskonsentrasjoner av glyfosat i overvåkingsperiodene (Funnkonsentrasjoner for 2014 er utelatt for Skuterudfeltet, samt stikkprøver for Skuterudfeltet og Mørdrefeltet)**

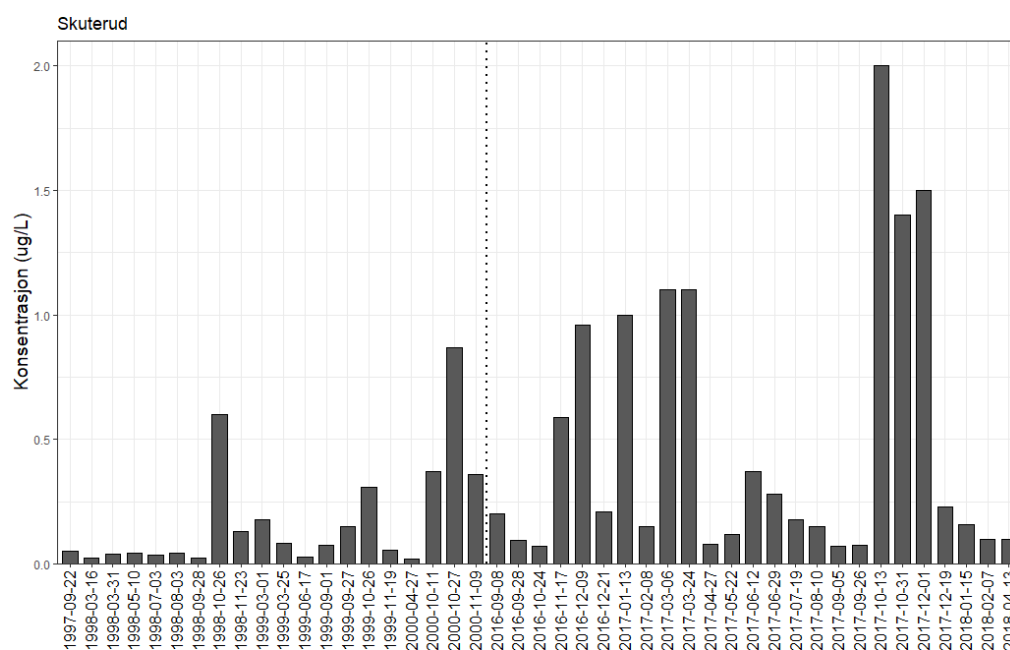
Glyfosatkonsentrasjoner		
Felt	Gjennomsnitt (µg/L)	Maks (µg/L)
Skuterud (n=45)	0,35(±0,46)a	2
Mørdre (n=39)	0,35(±0,54)a	2,8

\* n=antall observasjoner

Figur 9 viser påvisninger av glyfosat i første (1997-2000) og andre (2016-2018) analyseperiode i overvåkingsfeltet Skuterud. Den stiplede linjen markerer skillet mellom de to periodene.

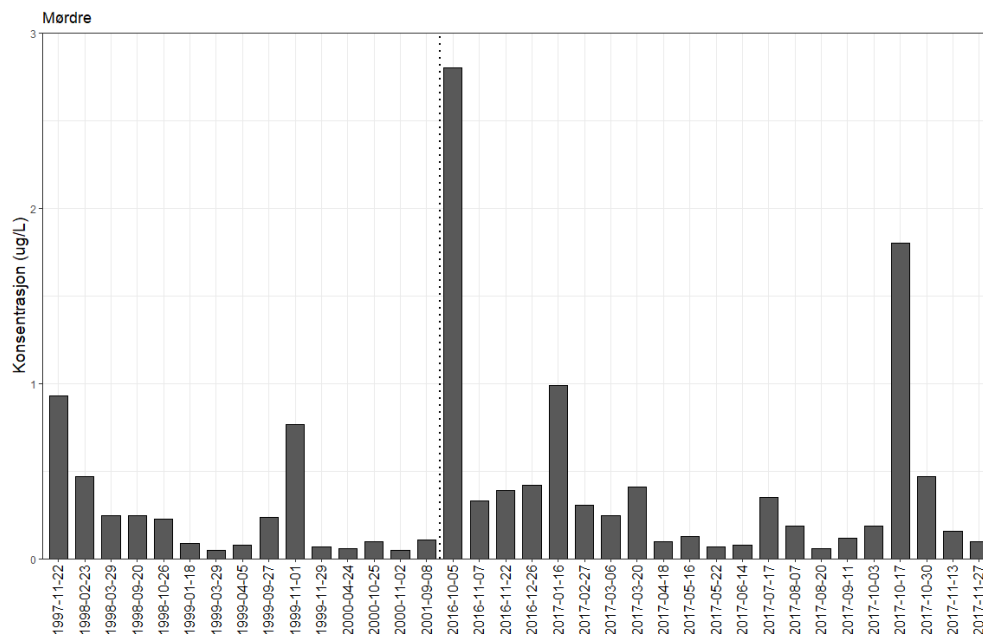
I første periode var konsentrasjonene lave (under 0,5 µg/L), unntatt to påvisninger (prøver tatt 26. oktober 1998 og 27. oktober 2000). Høye konsentrasjoner i 1998 kom til tross for lav andel areal sprøytet i 1998 (Figur 5). Høye konsentrasjoner på høsten skyldes at prøvene ble tatt kort tid etter sprøyting i kombinasjon med nedbør og avrenning. Mye avrenning (68 mm) i en blandprøveperiode i oktober, førte til den høyeste målte glyfosatkonsentrasjonen i første analyseperiode (0,87 µg/L i prøve tatt 27. oktober 2000).

I andre periode var glyfosatkonsentrasjonene for det meste høyere enn i første analyseperiode. Høyeste konsentrasjon ble også her målt i en prøve i oktober (13.10.2017). Totalt 8 av 25 prøver hadde konsentrasjoner over 0,5 µg/L.



**Figur 9. Funn av glyfosat i Skuterudfeltet i første (1997-2000) og andre (2016-2018) analyseperiode. Stiplet linje skiller analyseperiodene fra hverandre**

Figur 10 viser påvisninger av glyfosat i første (1997-2001) og andre (2016-2018) analyseperiode i Mørdrefeltet. Den stiplede linjen markerer skillet mellom periodene. I første analyseperiode ble de høyeste konsentrasjonene målt i november. I andre analyseperiode ble de høyeste konsentrasjonene målt i oktober og januar.



Figur 10. Funn av glyfosat i Mørdrefeltet i første (1997-2001) og andre (2016-2018) analyseperiode. Stiplet linje skiller analyseperiodene fra hverandre.

### 3.3 Sammenhenger mellom glyfosatkonsentrasjoner og andre faktorer totalt for overvåkingsperioden

#### 3.3.1 Værforhold

Tabell 5 viser korrelasjoner mellom glyfosatfunn og nedbør og avrenning i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet for begge analyseperioder.

I Skuterudfeltet korrelerte påviste glyfosatkonsentrasjoner best med maks avrenning (Kendall's Tau = 0,3), men det var også statistisk signifikante positive korrelasjoner for gjennomsnittlig og total avrenning, samt total nedbør i blandprøvene. I Mørdrefeltet var det signifikante korrelasjoner mellom påviste glyfosatkonsentrasjoner og gjennomsnittlig og total nedbør, samt total avrenning. Dette var imidlertid negative korrelasjoner.

Tabell 5. Korrelasjon (Kendall's Tau) glyfosatfunn med nedbør og avrenning i Skuterudfeltet (n= 45 observasjoner) og Mørdrefeltet (n=36 observasjoner) i overvåkingsperiodene.

Felt	Korrelasjon nedbør vs. glyfosatfunn			Korrelasjon avrenning vs. glyfosatfunn		
	Maks	Snitt	Tot	Maks	Snitt	Tot
Skuterud	-0,01 (0,91)	0,13 (0,18)	0,22 (0,02)	0,30 (0,002)	0,20 (0,05)	0,25 (0,01)
Mørdre	-0,12 (0,29)	-0,31 (0,009)	-0,24 (0,04)	-0,19 (0,10)	-0,22 (0,06)	-0,22 (0,05)

Statistisk signifikans ( $p < 0,05$ ) er indikert med grått felt. Tendens ( $p < 0,1$ ) er markert med lyst grått felt. Maks og gjennomsnittlige observasjoner er registreringer/ målinger pr. time.

Tabell 6 viser maks, gjennomsnittlig og total nedbør og avrenning for Skuterudfeltet og Mørdrefeltet i analyseperiodene. Maks og total avrenning var signifikant forskjellig mellom de to feltene.

**Tabell 6. Gjennomsnittlige verdier for maks, gjennomsnitt og total nedbør og avrenning i blandprøver i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet i overvåkingsperiodene. Standardavvik er gitt i parentes.**

	Nedbør (mm)			Avrenning (mm)		
	Maks	Snitt	Tot	Maks	Snitt	Tot
<b>Skuterud</b>	4,58 (±3,31) <sup>a</sup>	0,12 (±0,09) <sup>a</sup>	51,98 (±34,44) <sup>a</sup>	0,76 (±0,73) <sup>a</sup>	0,07 (± 0,07) <sup>a</sup>	30,7 (±29,0) <sup>a</sup>
<b>Mørdre</b>	3,87 (±3,25) <sup>a</sup>	0,09 (±0,06) <sup>a</sup>	55,40 (±52,10) <sup>a</sup>	0,38 (±0,33) <sup>b</sup>	0,055 (± 0,07) <sup>a</sup>	19,35 (±17,88) <sup>b</sup>

Statistisk signifikante ( $p < 0,05$ ) forskjeller mellom felt, basert på enkel t-test, er indikert med grått felt og ulike bokstaver.

### 3.3.2 Suspendert stoff, total-fosfor, løst fosfat og glyfosatkonsentrasjoner

Tabell 7 viser korrelasjoner mellom konsentrasjoner av glyfosat og jordpartikler (suspendert stoff) og næringsstoffer i bekkevann.

Resultatene viser signifikant korrelasjon mellom totalfosfor og glyfosatfunn i Skuterudfeltet. Det var ingen korrelasjon mellom glyfosatfunn og suspendert stoff, totalfosfor og løst fosfat i Mørdrefeltet.

**Tabell 7. Korrelasjoner (Kendall's Tau) mellom glyfosatfunn og suspendert stoff (SS), totalfosfor (TP) og løst fosfat (PO<sub>4</sub>-) i blandprøver i Skuterud (n= 45 observasjoner) og Mørdre (n=36 observasjoner) i overvåkingsperiodene.**

Felt	Korrelasjon med glyfosatfunn		
	SS	TP	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
<b>Skuterud</b>	-0,01 (p=0,94)	0,24 (p=0,02)	0,09 (p=0,35)
<b>Mørdre</b>	- 0,10 (p=0,35)	0,05 (p=0,63)	0,14 (p=0,23)

Statistisk signifikante ( $p < 0,05$ ) forskjeller mellom felt er indikert med grått felt.

Tabell 8 viser konsentrasjoner av partikler og næringsstoffer i bekkevann i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet.

Det var i gjennomsnitt for analyseperiodene høyere konsentrasjoner av suspendert stoff og totalfosfor i Mørdrefeltet sammenlignet med Skuterudfeltet.

**Tabell 8. Gjennomsnittlig konsentrasjoner av suspendert stoff (SS), totalfosfor (TP) og løst fosfat (PO<sub>4</sub>-) av blandprøver i Skuterudfeltet (n= 45 observasjoner) og Mørdrefeltet (n=36 observasjoner) i overvåkingsperiodene. Standardavvik er gitt i parentes.**

Felt	Konsentrasjoner i blandprøver		
	SS <sup>1</sup>	TP <sup>1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>2</sup>
<b>Skuterud</b>	98,6 (±111,9) <sup>a</sup>	0,29 (±0,30) <sup>a</sup>	97,46 (±258,88) <sup>a</sup>
<b>Mørdre</b>	241,1 (±250,1) <sup>b</sup>	0,55 (±0,39) <sup>b</sup>	61,36 (±33,02) <sup>a</sup>

<sup>1</sup>=ug/L, <sup>2</sup>=mg/L. <sup>a,b</sup>Statistisk signifikante ( $p < 0,05$ ) forskjeller mellom felt, basert på enkel t-test. Disse er også indikert med grått felt. Merknad: Det er utelatt 3 blandprøver i Mørdre grunnet ulik prøvetaking for glyfosatanalyser og de øvrige analyseparametrene.

### 3.3.3 Driftspraksis

Tabell 9 viser korrelasjoner mellom funn av glyfosat og antall dager siden sprøyting, samt mellom funn av glyfosat og glyfosatsprøyting eller jordarbeiding i blandprøveperioden eller inntil 15 dager før.

I både Skuterudfeltet og Mørdrefeltet viser resultatene en positiv korrelasjon mellom sprøyting og konsentrasjoner for glyfosat, samt en forventet negativ korrelasjon mellom konsentrasjoner og antall

dager siden sprøyting. Det var ingen korrelasjon mellom glyfosatfunn og jordarbeiding i blandprøveperioden eller 15 dager før starten på blandprøveperioden.

**Tabell 9. Korrelasjoner (Kendall's Tau) mellom glyfosatfunn og glyfosatsprøyting (ja eller nei), jordarbeiding (pløying/harving eller ingen) i blandprøveperioden eller 15 dager før, samt antall dager mellom glyfosatsprøyting og funn i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet.**

Felt	Korrelasjon med glyfosatfunn		
	Sprøyting	Jordarbeiding	Antall dager mellom sprøyting og funn
Skuterud (n = 45 obs)	0,25 (p=0,04)	-0,03 (p=0,76)	-0,29 (p=0,004)
Mørdre (n = 39 obs)	0,26 (p=0,05)	-0,12(p=0,34)	-0,21 (p=0,06)

Statistisk signifikante korrelasjoner (p<0,05) indikert med grått felt. p<0,1 indikerer tendens.

### 3.4 Sammenhenger mellom glyfosatkonsentrasjoner og andre faktorer i første (1997-2000) og andre periode (2016-2018)

Tabell 10 viser gjennomsnittlig og maks konsentrasjoner av glyfosat i de to periodene 1997-2000 og 2016-2018. Det var statistisk signifikant høyere påviste glyfosatkonsentrasjoner i andre analyseperiode, 2016-2018, i både Skuterudfeltet og Mørdrefeltet.

**Tabell 10. Gjennomsnittlig og maks konsentrasjon av glyfosat i 1997-2000 (Skuterudfeltet) / 1997-2001 (Mørdrefeltet) og 2016-2018.**

Felt	Periode	Glyfosatkonsentrasjoner	
		Gjennomsnitt (µg/L)	Maks (µg/L)
Skuterud (n=45)	1997-2000	0,18 (±0,22) <sup>a</sup>	0,87
	2016-2018	0,49 (±0,55) <sup>b</sup>	2,00
Mørdre (n=39)	1997-2001	0,22 (±0,25) <sup>a</sup>	0,93
	2016-2018	0,46 (±0,66) <sup>b</sup>	2,8

<sup>a, b</sup> angir grupper med statistisk signifikante forskjellige verdier.

#### 3.4.1 Værforhold

Tabell 11 viser korrelasjoner mellom glyfosatfunn og nedbør, samt mellom glyfosatfunn og avrenning. I Skuterudfeltet var det i første analyseperiode statistisk signifikant positiv korrelasjon mellom glyfosat-konsentrasjoner og gjennomsnittlig og total nedbør samt maks avrenning. I andre analyseperiode var det signifikant positiv korrelasjon mellom glyfosatfunn og maks og gjennomsnittlig avrenning. I Mørdrefeltet var det statistisk signifikant korrelasjon mellom glyfosatfunn og gjennomsnittlig nedbør og total nedbør i andre analyseperiode. Disse korrelasjonene var imidlertid negative.

**Tabell 11. Korrelasjoner mellom glyfosatfunn og nedbør og avrenning i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet for perioden 1997-2000 (Skuterudfeltet) / 1997-2001 (Mørdrefeltet) og perioden 2016-2018.**

Felt	Periode	Korrelasjon* nedbør vs. glyfosatfunn		Korrelasjon* avrenning vs. glyfosatfunn			
		Maks	Gj. snitt	Tot	Maks	Gj. snitt	Tot
Skuterud (n=45)	1997-2000	0,03 (p=0,87)	0,41 (p=0,01)	0,41 (p=0,01)	0,36 (p=0,02)	0,29 (p=0,07)	0,28 (p=0,08)
	2016-2018	-0,06 (p=0,65)	0,13 (p=0,33)	0,02 (p=0,87)	0,31 (p=0,02)	0,33 (p=0,01)	0,22 (p=0,11)
Mørdre (n=36)	1997-2001	-0,04 (p=0,80)	-0,21 (p=0,27)	-0,10 (p=0,58)	-0,22 (p=0,25)	-0,24 (p=0,21)	-0,37 (p=0,05)
	2016-2018	-0,25 (p=0,12)	-0,35 (p=0,02)	-0,31 (p=0,04)	-0,08 (p=0,60)	-0,15 (p=0,35)	-0,08 (p=0,60)

\* Kendall's Tau. Statistisk signifikante korrelasjoner (p<0,05) indikert med grått felt. p<0,1 indikerer tendens.

Tabell 12 viser nedbør og avrenning i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet i de to analyseperiodene. Det var ingen statistisk signifikante forskjeller mellom de to periodene for Skuterudfeltet. I Mørdrefeltet var det signifikante forskjeller mellom analyseperiodene for total nedbør, samt maks og total avrenning, med lavere verdier i andre periode.

**Tabell 22. Gjennomsnittlig, maks og total nedbør og avrenning i 1997-2000 (Skuterudfeltet) / 1997-2001 (Mørdrefeltet), og 2016-2018.**

Felt	Periode	Nedbør (mm)			Avrenning (mm)		
		Maks	Snitt	Tot	Maks	Snitt	Tot
Skuterud	1997-2000	4,53(±2,78) <sup>a</sup>	0,15(±0,12) <sup>a</sup>	49,92(±38,11) a	0,72(±0,74) <sup>a</sup>	0,09(±0,09) <sup>a</sup>	29,61(±31,28) a
	2016-2018	4,63(±3,74) <sup>a</sup>	0,09(±0,05) <sup>a</sup>	53,62(±31,91) a	0,79(±0,73) <sup>a</sup>	0,05(±0,04) <sup>a</sup>	31,51(±27,70) a
Mørdre	1997-2001	4,15(±4,23) <sup>a</sup>	0,10(±0,07) <sup>a</sup>	77,19(±67,98) a	0,46(±0,39) <sup>a</sup>	0,07(±0,10) <sup>a</sup>	26,08(±22,00) a
	2016-2018	3,55(±2,08) <sup>a</sup>	0,08(±0,05) <sup>a</sup>	33,98(±16,28) b	0,28(±0,24) <sup>b</sup>	0,03(±0,03) <sup>a</sup>	11,32(±8,85) <sup>b</sup>

<sup>a, b</sup> angir grupper med statistisk signifikante forskjellige verdier mellom de to tidsperiodene for det enkelte felt. Det er benyttet t-test (welch two sample t-test) i analysen mellom perioder.

### 3.4.2 SS, TP og PO4 og glyfosatkonsentrasjoner

Tabell 13 viser korrelasjoner mellom glyfosatfunn og suspendert stoff eller næringsstoffer, for de to analyseperiodene. Det var statistisk signifikante positive korrelasjoner mellom glyfosatfunn og suspendert stoff og totalfosfor for andre analyseperiode i Skuterudfeltet.

**Tabell 13. Korrelasjoner (Kendall's Tau) mellom suspendert stoff (SS), totalfosfor (TP) og løst fosfat (PO4) i 1997-2000 (Skuterud) / 1997-2001 (Mørdre) og 2016-2018.**

Felt	Periode	Korrelasjon med glyfosatfunn		
		SS	TP	PO4
Skuterud	1997-2000	0,04 (p=0,77)	0,17 (p=0,26)	0,02 (p=0,89)
	2016-2018	0,31 (p=0,02)	0,42 (p=0,003)	0,25 (p=0,07)
Mørdre	1997-2001	-0,06 (p=0,72)	-0,07 (p=0,69)	-0,22 (p=0,25)
	2016-2018	-0,12 (p=0,41)	0,03 (p=0,80)	0,15 (p=0,33)

Statistisk signifikante korrelasjoner (p<0,05) indikert med grått felt. p<0,1 indikerer tendens.

Tabell 14 viser konsentrasjoner av suspendert stoff og næringsstoffer i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet for de to analyseperiodene. I Skuterudfeltet var det signifikant lavere konsentrasjoner av suspendert stoff i andre analyseperiode, mens det i Mørdrefeltet var signifikant høyere konsentrasjoner av totalfosfor og løst fosfat i andre analyseperiode.

**Tabell 14. Konsentrasjoner av suspendert stoff (SS), totalfosfor (TP) og løst fosfat (PO4) i 1997-2000 (Skuterudfeltet) / 1997-2001 (Mørdrefeltet) og 2016-2018.**

Felt	Periode	Konsentrasjoner i blandprøver		
		SS <sup>1</sup>	TP <sup>1</sup>	PO4 <sup>2</sup>
Skuterud	1997-2000	151,75(±140,18) <sup>a</sup>	0,27(±0,16) <sup>a</sup>	64,75(±46,58) <sup>a</sup>
	2016-2018	56,08(±56,14) <sup>b</sup>	0,31(±0,38) <sup>a</sup>	123,64(±345,75) <sup>a</sup>
Mørdre	1997-2001	222,26(±315,60) <sup>a</sup>	0,33(±0,20) <sup>a</sup>	38,8(±12,19) <sup>a</sup>
	2016-2018	254,47(±200,17) <sup>a</sup>	0,71(±0,42) <sup>b</sup>	77,47(±33,90) <sup>b</sup>

<sup>1</sup>=ug/L, <sup>2</sup>=mg/L

<sup>a,b</sup>Statistisk signifikante ( $p < 0,05$ ) forskjeller mellom perioder for det enkelte felt (welch two sample t-test). Er også indikert med grått felt.

### 3.4.3 Driftspraksis

Tabell 15 viser korrelasjoner mellom funn av glyfosat og glyfosatsprøyting og jordarbeiding. I både Skuterudfeltet og Mørdrefeltet var det statistisk signifikant positiv sammenheng mellom konsentrasjoner og sprøyting i første analyseperiode. Vi fant også en forventet negativ korrelasjon mellom konsentrasjoner og antall dager siden sprøyting i begge periodene i Skuterudfeltet, samt i første periode i Mørdrefeltet. Det var ingen korrelasjon mellom funn av glyfosat og driftspraksis for andre analyseperiode i Mørdrefeltet.

**Tabell 35. Korrelasjoner (Kendall's Tau) mellom glyfosatfunn og glyfosatsprøyting (ja eller nei), jordarbeiding (pløying/harving eller ingen) i blandprøveperioden eller 15 dager før, samt antall dager mellom glyfosatsprøyting og funn i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet for de to analyseperiodene (funn oppgitt som gjennomsnitt).**

Felt	Periode	Korrelasjoner glyfosatfunn		
		Sprøyting	Jordarbeiding	Antall dager mellom sprøyting og funn
Skuterud	1997-2000	0,57 ( $p=0,002$ )	0,12 ( $p=0,51$ )	-0,49 ( $p=0,002$ )
	2016-2018	0,17 ( $p=0,30$ )	-0,13 ( $p=0,41$ )	-0,29 ( $p=0,03$ )
Mørdre	1997-2001	0,43 ( $p=0,03$ )	-0,059 ( $p=0,79$ )	-0,35 ( $p=0,04$ )
	2016-2018	0,11 ( $p=0,53$ )	-0,21 ( $p=0,24$ )	-0,05 ( $p=0,73$ )

Statistisk signifikante korrelasjoner ( $p < 0,05$ ) indikert med grått felt.  $p < 0,1$  indikerer tendens.

## 3.5 Sesongvariasjoner og (ekstreme) episoder

Tabell 16 viser gjennomsnittlig og maks konsentrasjoner av glyfosat vår, sommer, høst og vinter i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet. Høyest konsentrasjoner ble målt på høst og vinter.

**Tabell 46. Gjennomsnittlig og maks konsentrasjon av glyfosat om vår, sommer høst og vinter i Skuterudfeltet og Mørdrefeltet. Forskjellige bokstaver (a,b) angir statistisk signifikans (P<0,05).**

Felt	Sesong	Glyfosatkonsentrasjoner	
		Gjennomsnitt (µg/L)	Maks (µg/L)
Skuterud	Vår	0,26 (±0,41)a	1,1
	Sommer	0,15(±0,13)a	0,37
	Høst	0,39(±0,52)a	2,00
	Vinter	0,53(±0,53)a	1,50
Mørdre	Vår	0,15(±0,12)a	0,41
	Sommer	0,17(±0,13)a	0,35
	Høst	0,57(±0,88)a	2,8
	Vinter	0,39(±0,32)a	0,99

Få observasjoner grunnet begrenset prøvetaking utenom vekstsesongen fører til svært usikre resultater fra korrelasjonsanalyser og kun de viktigste funnene nevnes her. Korrelasjonsanalyse for Skuterudfeltet med fokus på værparametre viste at om våren korrelerte glyfosatkonsentrasjonene best med maks avrenning (Kendall's Tau = 0,5; p=0,02), mens konsentrasjoner om høsten korrelerte best med total nedbør om høsten. Analyse av andre parametre viste sammenhenger mellom glyfosatfunn og TP og PO<sub>4</sub> både om høsten (Kendall's Tau = 0,33, p=0,04) og våren (Kendall's Tau = 0,51, p=0,02). Tilsvarende analyse av data fra Mørdrefeltet viste negativ korrelasjon mellom glyfosatfunn og gjennomsnittlig nedbør både høst (Kendall's Tau = -0,50, p=0,03) og vinter (Kendall's Tau = -0,48, p=0,02). Analyse av andre parametre viste korrelasjon mellom glyfosatkonsentrasjoner og TP og PO<sub>4</sub>.

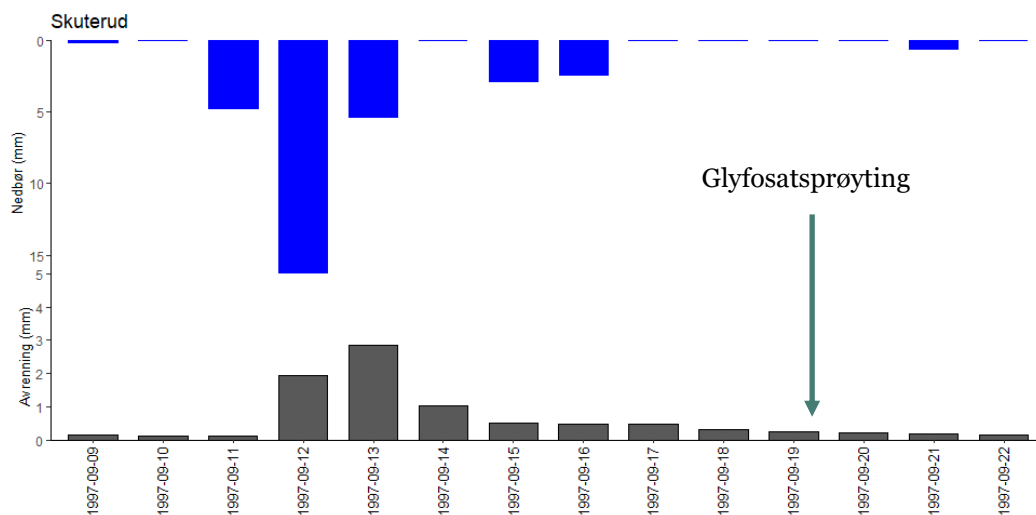
Det er gjort en analyse av utviklingen i værforhold i JOVA overvåkingsfeltene som er presentert i sammendragsrapport for JOVA-overvåkingen for perioden 1992-2019 (Bechmann et al., 2021). Her vises det at frekvensen i flomtopper var lavere i de to undersøkte feltene i perioden 2016-2018 sammenliknet med perioden 1997-2001. Vi kan dermed ikke konkludere at de observerte økte glyfosatkonsentrasjoner i bekkevann har sammenheng med en økning i ekstremvær (dvs. avrenningsepisoder av høy intensitet). Vi har imidlertid sett nærmere på noen eksempler med høye og lave glyfosatkonsentrasjoner som er vist under. Resultater fra episodestudier fra Skuterudfeltet er gitt i Tabell 17. Episode 1 og 2 er eksempler på forhold som kan føre til høye og lave konsentrasjoner om høsten. Episode 3 er eksempel på snøsmelting om våren.

**Tabell 57. Resultater fra episodestudier i Skuterudfeltet**

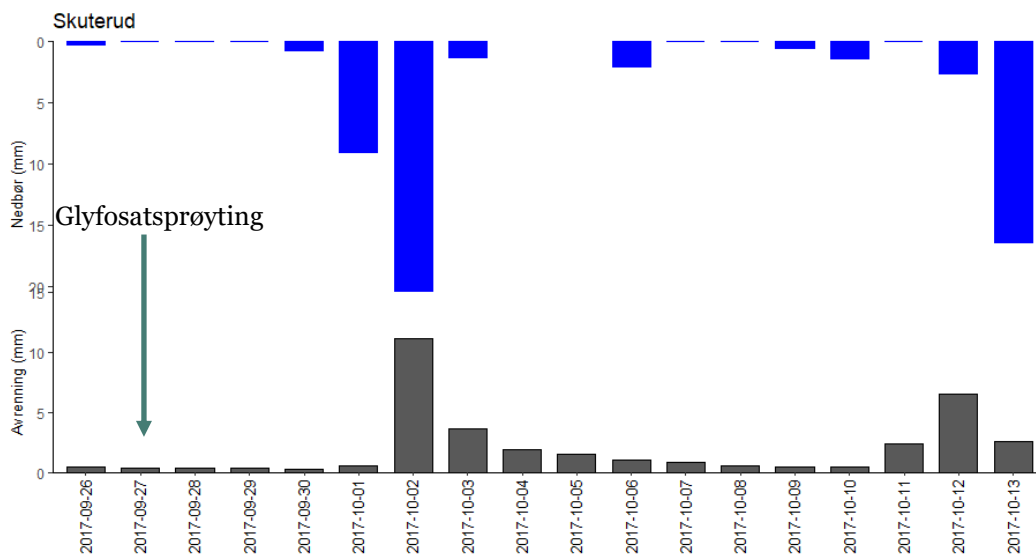
Informasjon	Episode 1	Episode 2	Episode 3
Blandprøveperiode	09.09.97 -22.09.1997	26.09.17-13.10.17	08.02.17-04.03.17
Sesong	Høst	Høst	Vår
Nedbør (mm)	34,9	58	72
Avrenning (mm)	8,7	35	56
Glyfosatkonsentrasjon (µg/L)	0,05	2,0	1,1
Antall dager siden sprøyting	0*	0*	143

\* Glyfosatsprøyting i blandprøveperioden

Figur 11 og 12 viser forhold som fører til lave og høye konsentrasjoner (hhv. Episode 1 og 2). Til tross for glyfosatsprøyting, samt nedbør og avrenning i blandperioden ble det målt lav (0,05 µg/L) glyfosatkonsentrasjon i prøven tatt 22. september 1997. Dette skyldes at sprøytinga ble gjennomført i etterkant av avrenning (Figur 11). I blandperioden 26. september 2017- 13. oktober 2017 ble glyfosat sprøytet i forkant av en nedbør- og avrenningsepisode som førte til høy påvisning (2,0 µg/L) i Skuterudfeltet (Figur 12).



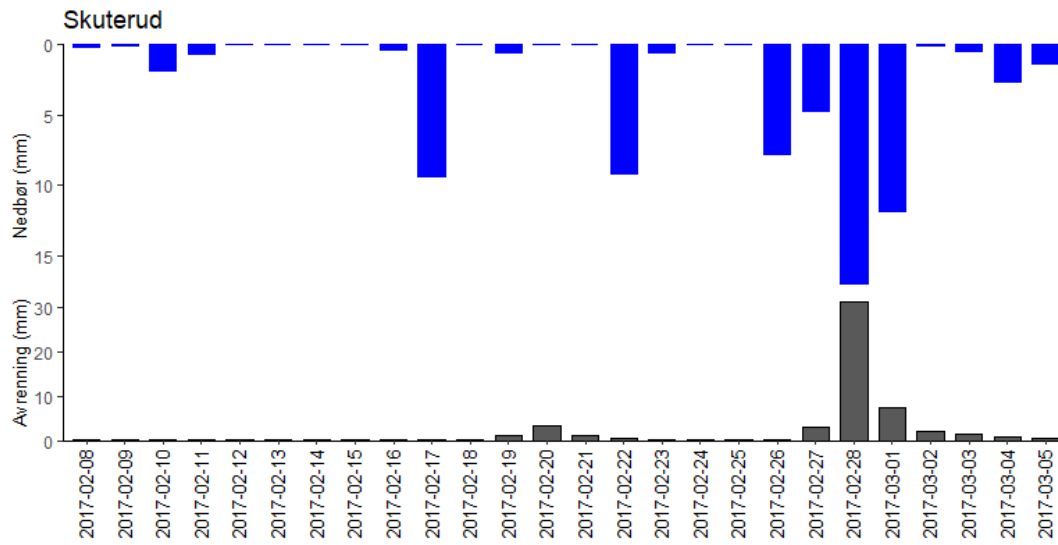
Figur 11. Nedbør (blå søyler) og avrenning (grå søyler) (mm) i blandprøveperiode 9. september 1997 til 22. september 1997 i Skuterudfeltet.



Figur 12. Nedbør og avrenning (mm) i blandprøveperiode 26. september 2017 til 13. oktober 2017 i Skuterud.

Figur 13 viser eksempel på forhold som førte til høy konsentrasjon av glyfosat tidlig vår. Til tross for glyfosatsprøyting hele 143 dager i forkant ble glyfosat målt i Skuterudfeltet (1,1 µg/L). I felt brytes glyfosat gjerne ned innen 80 dager (Tabell 1). Studier tyder på at lave vintertemperaturer reduserer nedbrytningen og øker persistensen til plantevernmidler i jord og kan være med på å forklare påvisningen i bekkevann. Videre kan nedbør som sammenfaller med snøsmelting forklare mobiliseringen av glyfosat som førte til høy glyfosatkonsentrasjon i prøven tatt 5. mars 2017.





Figur 13. Nedbør og avrenning (mm) i blandprøveperiode 8. februar 2017 til 5. mars 2017 i Skuterud.

## 4 Diskusjon

### 4.1 Evaluering av hypoteser

Resultatene av dataanalysene som er gjennomført gir ikke noen entydig støtte til hovedhypotesen som ble framsatt i starten av denne rapporten:

*H: Økt bruk av glyfosat gjennom overvåkingsperioden på grunn av redusert jordarbeiding har sammen med endring i nedbør/avrenning gitt økte glyfosatkonsentrasjoner i bekken*

Vi ser en statistisk signifikant økning både i bruk av glyfosat og i målte gjennomsnittskonsentrasjoner i bekkevann gjennom overvåkingsperioden for de to undersøkte feltene totalt sett. I begge feltene ser vi også høyere både gjennomsnittlig og maksimal glyfosatkonsentrasjon påvist i bekkevann i perioden 2016-2018 sammenliknet med perioden 1997-2001. Sammenlikner vi de to periodene med hensyn på arealandel sprøytet med glyfosat, ser vi imidlertid at det i perioden 2016-2018 er lavere arealandel sprøytet med glyfosat i Skuterudfeltet og høyere andel i Mørdrefeltet sammenliknet med perioden 1997-2001. Når det gjelder nedbør og avrenning var det for Skuterudfeltet ingen signifikante forskjeller mellom disse to periodene, mens det for Mørdrefeltet var statistisk signifikant lavere total nedbør og maksimal og total avrenning i perioden 2016-2018.

### 4.2 Forklaringsvariable for påviste konsentrasjoner av glyfosat

De to undersøkte overvåkingsfeltene Skuterudfeltet og Mørdrefeltet er begge dominert av korndyrking og glyfosat benyttes i utstrakt grad i begge feltene, men de er også ulike med hensyn til jordegenskaper, værforhold, jordarbeidings- og sprøytepraksis. Disse forskjellene inkluderer størrelsen av nedbørfeltet (Mørdrefeltet > Skuterudfeltet), noe som kan ha innvirkning på fortynningsgraden ved transport gjennom nedbørfeltet. Videre har Mørdrefeltet et betydelig innslag av bakkeplanert areal, noe som kan påvirke hvor erosjonsutsatt arealene er og hvor stor transport man får av bl.a. jordpartikler og partikkelbundne stoffer og også vil påvirke valg av jordarbeiding og behov for bruk av ugrasmiddel som glyfosat. Det er imidlertid ikke statistisk signifikant forskjell i de påviste glyfosatkonsentrasjonene, både gjennomsnittlige og maksimale konsentrasjoner, i de to feltene. For begge overvåkingsfeltene ser vi også en tilsvarende og statistisk signifikant økning ( $\geq 100\%$ ) i målte glyfosatkonsentrasjoner i bekkevann i perioden 2016-2018 sammenliknet med perioden 1997-2001.

Dette indikerer at det kan være vanskelig å identifisere noen klare drivende faktorer for forekomst av glyfosat i bekkevann, utover faktisk bruk av midlet i plantevernpraksis. Dette bekreftes av de generelt svake korrelasjonene mellom påviste glyfosatkonsentrasjoner og de ulike faktorene som er undersøkt både når vi ser på hele datasettet samlet (Kendall's Tau =  $|0,2-0,3|$ ) og når vi ser på hver tidsperiode for seg (Kendall's Tau =  $|0,3-0,6|$ ). Vi ser imidlertid noe sterkere sammenhenger når vi analyserer det to periodene hver for seg.

#### 4.2.1 Værforhold

Analysene av hele datasettet fra Skuterudfeltet viser en svak positiv, men statistisk signifikant, korrelasjon ( $\leq 0,3$ ) mellom påviste glyfosatkonsentrasjoner og værvariablene total nedbør, maksimal og total avrenning i den enkelte blandprøveperiode (dvs. vanligvis en 2-ukers periode). Ser vi på de to periodene hver for seg, så er det en statistisk signifikant korrelasjon mellom glyfosatkonsentrasjoner og gjennomsnittlig og total nedbør samt maksimal avrenning i første periode (1997-2000), mens det kun er statistisk signifikant korrelasjon med maksimal og gjennomsnittlig avrenning i andre periode (2016-2018). Våre analyser viser som nevnt en signifikant endring i glyfosatkonsentrasjoner mellom første og andre periode, men det er ingen tilsvarende statistisk signifikant endring i nedbør eller avrenning. Tilsvarende viser analyser av hele datasettet fra Mørdrefeltet en svak negativ, men

statistisk signifikant, korrelasjon med værvariablene gjennomsnittlig og total nedbør og total avrenning. Når vi ser på de to periodene hver for seg så er det en statistisk signifikant negativ korrelasjon mellom glyfosatkonsentrasjon og total avrenning i første periode (1998-2001) og med gjennomsnittlig og total nedbør i andre periode (2016-2018). For Mørdrefeltet viser våre analyser både statistisk signifikant høyere glyfosatkonsentrasjoner og lavere nedbør og avrenning i andre periode (ca. 60% reduksjon). Noe av forklaringen til høyere påviste glyfosatkonsentrasjoner i andre periode på tross av stabil eller redusert total nedbør og avrenning, kan ligge i mengde glyfosat sprøytet i feltet i de to periodene. I Mørdrefeltet ble det årlig benyttet mellom 22 og 96 kg glyfosat i den første perioden, mens det i andre periode varierte mellom 104 og 175 kg totalt pr år. Denne økningen kan forventes å være noe av årsaken til økte påviste konsentrasjoner på tross av lavere nedbør og avrenning. I Skuterudfeltet var variasjonen i første periode mellom 19 og 125 kg glyfosat pr år, mens det i andre periode var mellom 27 og 53 kg pr år. Ut fra dette vil vi ikke forvente at ulike mengde glyfosat sprøytet vil ha hatt en avgjørende effekt på resultatene.

En rekke 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 et al, 2018; Screpanti et al, 2005; Shipitalo & Owens 2006) og ved nedbør på allerede fuktig jord (Rasmussen et al, 2015). Nedbørmønsteret etter sprøyting vil også være avgjørende for faktisk utlekking. 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 et al, 2000).

En analyse av overvåkingsdata basert på vannføringsproporsjonal blandprøvetaking med analyser av prøver ca. hver annen uke slik vi har gjennomført her, gir ikke mulighet for å gjennomføre statistisk gyldige analyser for å identifisere slike effekter av nedbørintensitet. Rasmussen et al. (2015) viste at totalt vannvolum var avgjørende på sandige jordarter, mens det var en sammenheng mellom nedbørintensitet og glyfosattransport ved nedbør på allerede fuktig jord. De viste også at korte intense nedbørepisoder resulterte i høyere andel utlekking til drensvann sammenliknet med mer moderate nedbørepisoder av lengre varighet.

#### 4.2.2 Driftspraksis

Sammenstillingen av målte glyfosatkonsentrasjoner og sprøytetidspunkt viser svak positiv, men statistisk signifikant, korrelasjon både for Skuterud- og Mørdrefeltet. Denne sammenhengen var statistisk signifikant både for sprøyting (ja/nei) i blandprøveperioden eller 15 dager før og for antall dager mellom sprøyting og funn i blandprøveperioden. Disse korrelasjonene er sterkest for den første perioden (1997-2001), og for Mørdrefeltet er det ingen statistisk signifikant korrelasjon mellom glyfosatprøyting og påviste glyfosatkonsentrasjoner i andre periode. Vi fant ingen statistisk signifikante korrelasjoner mellom målte glyfosatkonsentrasjoner og (tidspunkt for) jordarbeiding (ja/nei, i blandprøveperioden + 15 dager).

Noe av forklaringen til de generelt lave korrelasjonene som er påvist i datasettet kan vi finne i informasjonen om driftspraksis i de aktuelle periodene. Sprøyting av glyfosat har generelt vært mer utbredt i Skuterudfeltet gjennom hele overvåkingsperioden, men arealandel sprøytet var relativt lik for de to feltene i andre periode. I Skuterudfeltet var det stor variasjon i bruk av glyfosat mellom år i første periode (fra <10 til 50% areal sprøytet), mens det i andre periode avtok fra ca. 40% til ca. 15% sprøytet areal. I årene 2016 og 2017, som vil ha hatt størst effekt på funnene analysert her, ble 25-30% areal sprøytet med glyfosat. I Mørdrefeltet ser vi generelt en høyere andel areal sprøytet med glyfosat i andre periode (ca. 25-35%) sammenliknet med første periode (ca. 5-15 %), samtidig som det var statistisk signifikant tørrere forhold i feltet i andre periode og dermed også lavere risiko for transport av glyfosat til vann. Ser man videre på arealtilstand over vinteren i de to feltene (Figur 7 og 8) var det i andre periode en større arealandel som overvintret i stubb i Mørdrefeltet enn i Skuterudfeltet, samtidig som det var mindre areal som overvintret i stubb for begge felt de siste årene sammenliknet

med tidligere i perioden. Det var også økende areal med høstpløying i Mørdrefeltet de siste årene i overvåkingsperioden; høyere arealandel enn i årene 2000-2001, men på om lag samme nivå som årene 1997-1999. Ut fra dette ser vi at variasjonene i sprøyting og jordarbeiding varierer mellom feltene samt både innenfor de to periodene som er analysert og mellom de to periodene. Ulikhetene i driftspraksis forklares blant annet ved ulike jordforhold med mellomleire med generelt god aggregatstruktur i Skuterudfeltet, mens Mørdrefeltet har store areal planert silt og leirjord med generelt svakere aggregatstruktur.

Vår analyse var av overvåkingsdata fra et større nedbørfelt, og for slike data vil det være vanskeligere å etablere klare sammenhenger mellom sprøyting og jordarbeiding på enkeltskifter og påviste konsentrasjoner i bekkevann. Vi har ikke sett nærmere på hvordan avstand mellom aktuelt skifte (som sprøytes eller jordarbeides) og bekken, da en foreløpig analyse tydet på at datasettet ikke var egnet for en slik detaljert analyse. De generelt lave korrelasjonene vi oppnådde i vår analyse viser viktigheten av mer kontrollerte forsøk med oppsamling av overflate- og drensavrenning for å etablere gyldige årsakssammenhenger, men de illustrerer også det komplekse samspillet mellom ulike naturgitte og driftsmessige faktorer som vil påvirke miljøkonsentrasjonene av glyfosat på ulike nivå.

Mer kontrollerte forsøk med avrenning og utlekking av glyfosat fra ulike korndyrkingspraksis er gjennomført ved Kjelle vgs (Bjørkelangen i Aurskog Høland kommune) i perioden 2014-2018 (Bechmann et al, 2019). Disse resultatene indikerer at sprøyting av glyfosat i stubben om høsten uten påfølgende pløying vil gi høyere konsentrasjoner av glyfosat i avrenningen gjennom påfølgendesesong. Et slikt bilde med høyere påviste konsentrasjoner i avrenningen ved redusert jordarbeiding er vist også av andre (bl.a. Warnemunde et al, 2007; Laitinen et al, 2009), og jordpakking i kjørespor er også en faktor som kan bidra spesielt til økt avrenning (Vuaille et al, 2020). Samtidig kan makroporer i slik pakka jord fungere som hotspots for pesticidtransport til drensvann (Vuaille et al, 2020).

Ruteforsøkene gjennomført på Kjelle vgs (Bechmann et al, 2019) viste videre at ekstreme nedbør-/avrenningsepisoder kan gi svært høye konsentrasjoner av glyfosat i avrenningen også ved jordarbeiding med pløying. Her ble det målt spesielt høye konsentrasjoner i overflate- og drensavrenning fra ruter med høstpløying ved ekstrem nedbør kort tid etter sprøyting og pløying. Totalt sett illustrerer disse forsøkene hvor avgjørende både sprøytetidspunkt, jordas aggregatstabilitet og nedbørintensiteten er for avrenningen som skjer ved en gitt nedbørepisode.

### 4.2.3 Vannkvalitetsparametre

En sammenstilling med målte vannkvalitetsparametre (SS, TP, PO<sub>4</sub>) viser for Skuterufeltet en svak positiv korrelasjon (Kendall's Tau= 0,24) mellom glyfosatkonsentrasjoner og TP når vi ser hele overvåkingsperioden under ett, mens det ikke er noen statistisk signifikante korrelasjoner i datasettet for Mørdrefeltet. Tilsvarende analyse av de to periodene hver for seg viser kun en statistisk signifikant korrelasjon mellom SS og TP i andre periode (2016-2018) for Skuterudfeltet. Det var også statistisk signifikant lavere SS mengder målt i Skuterudfeltet i andre periode sammenliknet med første periode. Det er imidlertid en tendens ( $p < 0,1$ ) til korrelasjon mellom målte konsentrasjoner av glyfosat og løst fosfat (PO<sub>4</sub>). Det er målt svært høye TP-verdier i Mørdrefeltet i perioden 2016-2018, og dette kan være noe av årsaken til at vi ikke ser en korrelasjon som i Skuterudfeltet.

Vi har kun analysert for løst glyfosat i overvåkingen og det er trolig behov for analyser også av partikkelbundet glyfosat for å finne gode sammenhenger med disse parametrene. Glyfosat bindes generelt sterkt i jord, det er et organofosfat og reagerer med de samme jordkomponentene som fosfater og konkurrerer dermed om bindingsplassene i jord (Gerritse et al, 1996; Munira et al, 2018; Piccolo & Celano, 1994; Wang et al, 2005). Laitinen et al. (2009) viser til en redusert risiko for avrenning av glyfosat om høsten ved sprøyting på tørr jord med lav P-status på grunn av binding av glyfosat i overflatesjiktet. Dette kan imidlertid mobiliseres og gi økt avrenning om våren. Motsvarende kan sprøyting på våt jord med høy P-status gi betydelige tap om høsten. Det er også studier som indikerer at økt fosforgjødsling også øker risikoen for tap av glyfosat (Sasal et al, 2015).

En rekke studier viser at transport av glyfosat i både overflateavrenning og dreinsvann kan være dominert av partikkelbundet glyfosat (bl.a. Bento et al, 2018; Yang et al, 2015; Ulén et al, 2012; Gjettermann et al, 2009 og 2011). Det foreligger imidlertid også motstridende resultater. Utlekkingsstudier fra Danmark indikerer at kun en lav andel av glyfosattransporten her er partikkelbundet (Kjaer et al, 2011) mens svenske studier indikerer at transport med dreinsvann i snøsmeltingen også er dominert av løst glyfosat (Ulén et al, 2012). Slike forskjeller kan til dels knyttes til forskjeller i jordarbeidingsintensitet og jordas aggregatstruktur, med generelt økt andel partikkelbundet transport ved pløying av jorda og/eller svak aggregatstruktur (Gjettermann et al, 2009 og 2011; Ulén et al, 2012). I JOVA-overvåkingen analyseres det kun for løst glyfosat og vi kan ikke vurdere hvor stor andel partikkelbundet transport av glyfosat utgjør i nedbørfeltene, eller hvordan dette ville påvirke resultatene av de gjennomførte korrelasjonsanalysene. Litteraturen viser imidlertid at analyse av både løst og partikkelbundet glyfosat er nødvendig for å få et godt nok bilde av faktisk transport i miljøet og de drivende faktorer for denne transporten.

### 4.3 Sesongvariasjoner og mulige effekter i miljøet

Våre analyser viser ingen statistisk signifikante forskjeller i påvist glyfosatkonsentrasjoner gjennom de ulike sesongene (vår, sommer, høst, vinter), på grunn av store variasjoner innenfor hver sesong. Dataene viser imidlertid noe høyere konsentrasjonsnivåer høst og vinter, som forventet da mye av glyfosatsprøytingen skjer om høsten samt at høst og vinterperioden antas å inkludere mye av nedbør- og avrenningsepisodene. De lave temperaturene høst, vinter og vår gjør også at nedbrytningen av glyfosat i jorda går langsomt. Andre nordiske undersøkelser bekrefter antakelsen om en sesongvariasjon i miljøkonsentrasjone av glyfosat. Det foreligger studier som viser høyest påviste konsentrasjoner under snøsmeltingen/om våren (Siimes et al, 2006; Laitinen et al, 2009; Ulén et al, 2012) på grunn av størst avrenning i denne perioden, og motsvarende lavest konsentrasjoner om sommeren før sprøyting om høsten (litteraturgjennomgang i Stenrød et al, 2007). Norske studier av delvis frosset jord har vist at det kan være en risiko for utlekking ved nedbørepisoder om vinteren både for mobile og sterkt bundne plantevernmidler (Holten et al, 2019), men disse undersøkelsene inkluderte ikke glyfosat.

Våre analyser av data fra Skuterudfeltet tyder også på at det om våren er (maksimal) avrenning som er avgjørende, mens nedbøren om høsten er viktig. For Mørdrefeltet er nedbør en viktig parameter både høst og vinter, men det er generelt negative korrelasjoner som kan tyde på at økt nedbør og avrenning da fører til en fortykning. Tilsvarende parametre er viktige også for transport av TP og PO<sub>4</sub> og vi ser dermed også korrelasjoner med glyfosat for disse (hvorav noen er statistisk signifikante) for dataene som er hentet inn gjennom vårperiodene overvåkingen.

Påviste konsentrasjonsnivåer for glyfosat i bekkevann i JOVA-overvåkingen, som generelt ligger lavere enn 3 µg/L, er langt lavere enn de konsentrasjonsnivåene som kan forventes å ha en negativ effekt på vannlevende organismer. Publiserte effektdata fra godkjenningsdokumentasjonen for glyfosat (bl.a. tilgjengelig i Lewis et al, 2016) inkluderer ingen-effekt-konsentrasjoner (NOEC) på 1000 µg/L fra kroniske tester for fisk, mens data fra akutt-tester indikerer akutte effekter med 50% økt dødelighet (LC<sub>50</sub>) av fisk ved konsentrasjoner over 38000 µg/L. Tilsvarende kan akutte effekter med 50% reduksjon i biomasse av vannplanter kan forventes ved konsentrasjonsnivåer over 12000 µg/L. Småskala feltstudier av avrenning og utlekking av glyfosat indikerer at de maksimalt påvisbare konsentrasjonene også i ekstreme situasjoner vil være langt lavere enn kjente toksisitetsstudier for organismer i overflatevann. Eksempelvis ble det i overflateavrenning fra forsøkene på Kjelle vgs. påvist maksimalt om lag 50 µg/L ved kraftig nedbør på pløyd jord kort tid etter sprøyting (Bechmann et al, 2019), mens Richards et al. (2018) målte konsentrasjonsnivåer opp mot 90 µg/L gjennom nedbørepisoder fra 3 til 13 dager etter sprøyting. Videre målte Screpanti et al. (2005) konsentrasjonsnivåer opp mot 16 µg/L, mens Warnemuende et al. (2007) målte maksimale konsentrasjonsnivåer så høye som 233 µg/L. Flere studier viser også en forhøyet risiko for avrenning

fra nedbør kort tid etter sprøyting når sprøyting skjer på allerede fuktig/våt jord (Richards et al, 2018, Rasmussen et al, 2015) på grunn av mindre binding av glyfosat til jord under slike forhold.

Vi antar at den biologiske aktiviteten er høyest og de ulike organismene vil være i en mer sårbar tilstand, om våren/sommeren. Ut fra dataene samlet inn i overvåkingen vil sommerperioden være en svært lite sårbar periode. Både overvåkingsdata og småskalaforsøk viser at det kan forventes lav risiko for effekter også ved ekstreme avrenningsepisoder om våren.

Analysene av glyfosat i bekkevannsprøvene i JOVA-programmet inkluderer kun løst glyfosat, og under deler av året kan en betydelig andel glyfosat transporteres bundet til partikler. Det er imidlertid uklart om denne fraksjonen er biotilgjengelig, tatt i betraktning at glyfosat bindes sterkt, og dermed om den partikkelbundne fraksjonen av midlet kan forårsake biologiske effekter i vannmiljø.

Grunnvannsovervåking gjennomført i regi av JOVA-programmet (fram til 2006) og som et eget kartleggingsprosjekt (2007-2012) (bl.a. Rød & Ludvigsen 2010; Roseth 2013), inkluderte ikke analyser av glyfosat. I 2016 ble det etablert grunnvannsovervåking i fire områder påvirket av jordbruk og her ble glyfosat inkludert i søkespekteret for analysene. Glyfosat ble påvist i ett av disse feltene i 2017 (påvist 0,38 µg/L) (Roseth et al, 2018). Det er satt en generell grense for rester av plantevernmidler i grunnvann og drikkevann på 0,1 µg/L som ikke er knyttet direkte til toksisitetsstudier for de aktuelle stoffene. Glyfosat er også påvist i overflatenært grunnvann i konsentrasjoner over grenseverdien for drikkevann i enkeltundersøkelser som ikke er del av en større overvåking, men fra et område med høy risiko for utlekking til grunnvann (Eklo et al, 2019). I Danmark er det gjennom en årrekke utført studier av utlekking av glyfosat til grunnvann på utvalgte representative lokaliteter. Nyeste rapport fra dette arbeidet konkluderer med at utlekking av glyfosat til grunnvann ikke utgjør noen konstant trussel, men at i spesielle situasjoner kan målbare konsentrasjoner nå over 0,1 µg/L (Rosenbom et al., 2021).

## 4.4 Konklusjoner

Vår analyse av overvåkingsdata for glyfosat i to korndominerte nedbørfelt i sørøst Norge i periodene 1997-2001 og 2016-2018, illustrerer kompleksiteten i naturforhold og jordbrukspraksis som påvirker transport fra jord til vann og behovet for et omfattende datagrunnlag for å kunne påvise statistisk signifikante sammenhenger.

Det har vært en endring i bruk av glyfosat i kornområder gjennom overvåkingsperioden, og vi ser generelt høyere konsentrasjonsnivåer i perioden 2016-2018. Det er imidlertid stor variasjon mellom år i andel areal sprøytet, plassering av areal som sprøytes, mengde middel som benyttes til sprøytingen mv. samtidig som det er variasjoner i vær- og avrenningsforhold. Datasettet er dermed ikke omfattende nok til å gi klare konklusjoner på hva som er drivende faktorer, men illustrerer at relativt ulike naturgitte og driftsmessige forhold som vi har i Skuterud- og Mørdrefeltet kan gi relativt like miljøkonsentrasjoner av glyfosat i jordbruksbekken.

Det er utfordrende å påvise (klare) årsakssammenhenger i det undersøkte datasettet da det blir få gjentak for hver aktuelle situasjon. 'Dypdykk' i datamaterialet viser imidlertid eksempler på situasjoner hvor man kan måle spesielt lave eller høye konsentrasjoner på bakgrunn av tidspunkt for nedbør i forhold til sprøyting. Blant annet illustrerer også norske overvåkingsdata hvordan nedbør som medfører avrenning kort tid etter sprøyting gir forhøyede glyfosatkonsentrasjoner i miljøet om høsten, mens snøsmeltingen medfører tilsvarende forhøyede konsentrasjonsnivåer om våren. Vi ser videre at nedbør på delvis frosset jord om vinteren kan gi forhøyede konsentrasjonsnivåer i bekkevann.

Glyfosat er omdiskutert og det jobbes for å finne alternative løsninger. Det er imidlertid ikke grunnlag i overvåkings- og forskningsdata under norske eller nordiske forhold for å si at avrenningen av glyfosat til overflatevann vil forårsake negative miljøeffekter. Alle påviste konsentrasjoner av glyfosat gjennom JOVA-overvåkinge er svært lave sett i forhold til de konsentrasjonene som kan forventes å ha en effekt i miljøet.

# Litteraturreferanser

- Aarstad, P. A & Bjørlo, B. 2019. Bruk av plantevernmidler i jordbruket i 2017. Statistisk sentralbyrå. Rapport 2019/23.
- 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>
- [DG SANCO] European commission directorate general for health and food safety. 2019. EU pesticides database. [cited 2013 Dec 5]. Available from: <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/>
- [EC] European Commission, 2011. Guidance document No. 27: technical guidance for deriving environmental quality standards. Technical report – 2011 – 055. Available from: [http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework\\_directive/guidance\\_documents/tgd-eqs\\_cis-wfd/\\_EN\\_1.0\\_&a=d](http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/guidance_documents/tgd-eqs_cis-wfd/_EN_1.0_&a=d)
- Holten, R., M. Lars[Google Scholar]
- 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>
- Gimsing, A.L., Borggaard, O.K., 2002. Competitive adsorption and desorption of glyphosate and phosphate on clay silicates and oxides. *Clay minerals*. 37: 509-515.
- 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>
- 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>
- Helander, M., Saloniemi, I. & Saikkonen, K. 2012. Glyphosate in northern ecosystems. *Trends in plant science Vol 17 (10)*, pp 569-574.
- bo, N. Jarvis, M. Stenrød, M. Almvik, and O.M. Eklo. 2019. Leaching of five pesticides of contrasting mobility through frozen and unfrozen soil. *Vadose Zone Journal* 18:180201. doi:10.2136/vzj2018.11.020
- Laitinen, P., Ramo, S., Nikunen, U., Jauhiainen, 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>
- Lewis, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D. and Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4): 1050-1064. DOI:10.1080/10807039.2015.1133242
- Mattilsynet 2018. Fakta om glyfosat. 3 pp. Tilgang internett 22.08.2018: [https://www.mattilsynet.no/planter\\_og\\_dyrking/plantevernmidler/godkjenning\\_av\\_plantevernmidler/fakta\\_om\\_glyfosat.3100/BINARY/Fakta%20om%20glyfosat](https://www.mattilsynet.no/planter_og_dyrking/plantevernmidler/godkjenning_av_plantevernmidler/fakta_om_glyfosat.3100/BINARY/Fakta%20om%20glyfosat)

- Mattilsynet, 2020. Omsetningsstatistikk for plantevernmidler. Tilgjengelig på [https://www.mattilsynet.no/planter\\_og\\_dyrking/plantevernmidler/godkjenning\\_av\\_plantevernmidler/statistikk\\_omsetning\\_av\\_plantevernmidler.3094](https://www.mattilsynet.no/planter_og_dyrking/plantevernmidler/godkjenning_av_plantevernmidler/statistikk_omsetning_av_plantevernmidler.3094)
- 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>
- NIBIO, 2020. Søkespekter for multimetoder vann M15 og M101. Tilgjengelig på: [https://www.nibio.no/tema/plantehelse/analyser/analysetjenester-plantevernmidler/\\_/attachment/inline/7b1e516f-6cco-43ba-ba8c-83455faddbde:17a8364c6d6642c4951d1c1038e0693e6464c96c/Multimetoder\\_vann20200221.pdf](https://www.nibio.no/tema/plantehelse/analyser/analysetjenester-plantevernmidler/_/attachment/inline/7b1e516f-6cco-43ba-ba8c-83455faddbde:17a8364c6d6642c4951d1c1038e0693e6464c96c/Multimetoder_vann20200221.pdf)
- 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](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/etc.5620131104)
- Piccolo, A, Celano, G, Ponte, P, 1996. Adsorption of glyphosate to humic substances. *J. Agric. Food Chem.* 1996, 44, 8, 2442-2446
- 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>
- Roseth, R., 2013. Plantevernmidler i grunnvann i jordbruksområder. Resultater fra prøvetaking 2010-2012. *Bioforsk rapport 8 (46)*, 84 s.
- Roseth, R., Kværner, J., Rognan, Y., Reinemo, J., Mæland, T., 2018. Overvåking av grunnvann påvirket av jordbruk. Haslemoen, Rimstadmoen, Horpestad og Lærdal. *NIBIO Rapport 4 (117)*, 55 s.
- Rueppel, M. L., Brightwell, B. B., Schaefer, J. & Marvel, J. T. 1977. Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. *J. Agric. Food chem.* 25 (3), pp 517-528.
- Rød, L.M., Ludvigsen, G.H., 2010. Pesticider i grunnvann i jordbruksområder. Resultater fra prøvetaking i 2009. *Bioforsk rapport 5 (43)*, 49 s.
- 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>
- 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., & 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>
- Siimes, K., Ramo, S., Welling, L., Nikunen, U., & Laitinen, P. (2006). Comparison of the behaviour of three herbicides in a field experiment under bare soil conditions [Article]. *Agricultural Water Management*, 84(1-2), 53-64. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.01.007>



- Stenrød, M., Eklo, O.M., Almvik, M., Kværner, J., Sveistrup, T., Charnay, M-P., Benoit, P., 2005. Effekt av klimatiske forhold på nedbrytning av glyfosat i jord. *Grønn Kunnskap* 9 (2): 179-85.
- Stenrød, M., Ludvigsen, G.H., Riise, G., Lundekvam, H., Almvik, M., Tørresen, K.S., Øygarden, L., 2007. Redusert jordarbeiding og glyfosat. En sammenstilling av norske og internasjonale forsknings- og overvåkingsresultater, samt en småskala feltstudie av avrenning av glyfosat ved ulik jordarbeiding.
- Tørresen, K.S., Brandsæter, L.O., Netland, J., Berge, T.W., Ringselle, B., Strand, E., 2018. Alternativer til glyfosat i korn og grasmark. NIBIO Rapport 4(79). 71 s.
- Ulén, 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>
- USDA National Institute of Food and Agriculture. 2013. The OPP pesticide ecotoxicity database. [cited 2013 Dec]. Available from: <https://ecotox.ipmcenters.org/>
- Van Bruggen, A.H.C, He, M.M., Shin, K., Mai, V., Jeong, K.C., Finckh, M.R., Morris, J.G. Jr., 2018. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of the total environment* 616-617: 255-268. VKM 2012. Metodedokument for helse- og miljørisikovurderinger. Faggruppe plantevernmidler. VKM Report 2012: 11. <https://vkm.no/risikovurderinger/allevurderinger/metodedokumentforvkmsfaggruppeforplantevernmidler.4.59777ce315d3abb23515eade.html>
- Vuaille, J., Daraghme, 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*. DOI: 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>

# Etterord

Dette arbeidet er gjennomført innenfor rammene av Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA).

Nøkkelord:	glyfosat, sprøyting, miljøkonsentrasjoner, nedbør, avrenning, overvåkingsperiode
Key words:	glyphosate, spraying, environmental concentrations, precipitation, run off, monitoring period
Andre aktuelle publikasjoner fra prosjekt:	Mer informasjon om JOVA-overvåkingen finner du på <a href="http://www.nibio.no/jova">www.nibio.no/jova</a>



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.