

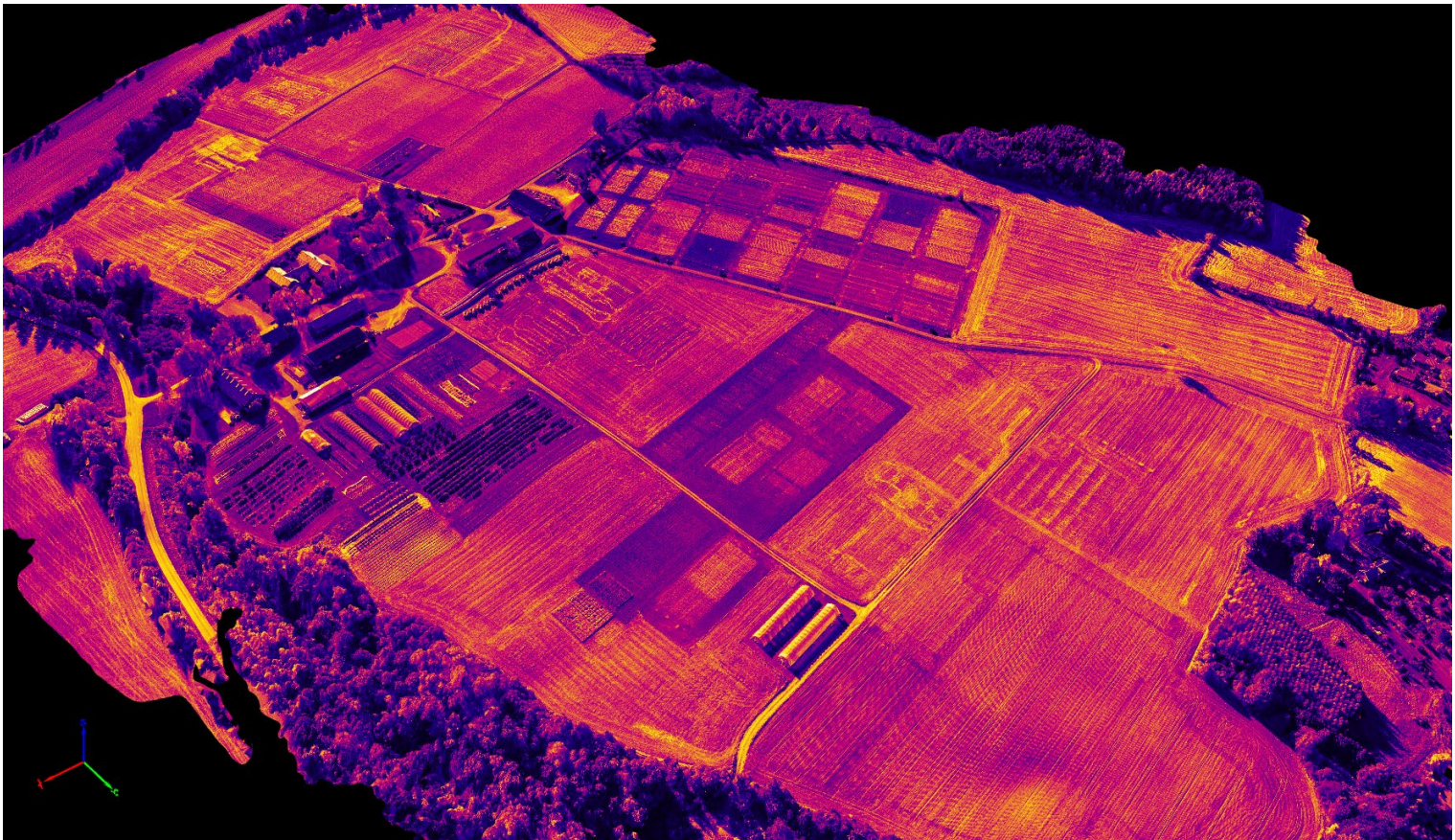


NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Utbredelse og potensiell økonomisk og miljømessig nytteverdi med presisjonsjordbruk i Norge

NIBIO RAPPORT | VOL. 5 | NR. 41 | 2019



Audun Korsæth, Håvard Johansen Lindgaard, Asbjørn Veidal, Leif Jarle Asheim
Divisjon for Matproduksjon og samfunn

TITTEL/TITLE

Utbredelse og potensiell økonomisk og miljømessig nytteverdi med presisjonsjordbruk i Norge

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Audun Korsæth, Håvard Johansen Lindgaard, Asbjørn Veidal, Leif Jarle Asheim

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
19.03.2019	5/41/2019	Åpen (lukket til 21/3 kl. 13.30)	11335	18/01649
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02303-6	2464-1162	54		

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:Oppdragsgiver: Styret for *Forskningsmidler over jordbruksavtalen***KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:**

Kontaktperson: Eline Kvamme Hagen

STIKKORD/KEYWORDS:eng; korn; potet; presisjonsjordbruk;
styreassistansecereals; ley; potato; precision agriculture;
steering assistance**FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:**

Systemanalyse

Systems analyses

SAMMENDRAG/SUMMARY:

I denne utredningen har vi søkt å kartlegge omfanget av presisjonsjordbruk (PA) i Norge i dag og beregne potensiell miljømessig gevinst og kost-nytte-verdi ved å implementere slike metoder. PA blir ofte definert som en jordbrukspraksis der en bruker ny teknologi til å tilpasse behandlingen av jord og vekst etter behovet som ofte varierer mye innenfor samme jordet. Dette omfatter bl.a. variabel rate-teknologi (VRT), som innebærer at en kan fordele innsatsfaktorer som bl.a. kalk, gjødsel og plantevernmidler med varierende, stedsspesifikk dosering. PA utgjør dermed et alternativ til vanligste praksis i dag, der innsatsfaktorene tildeles jevnt over hele jordet (ensartet) ut fra gjennomsnittsbetraktninger.

Ulike former for styreassistanse (metoder basert på bruk av globale navigasjonssatellitt-systemer; GNSS; for presis kjøring på jordet) kan i utgangspunktet benyttes både ved ensartet behandling og der en har en stedsspesifikk tilnærming. Vi har likevel valgt å inkludere bruk av denne teknologien i vår undersøkelse, siden styreassistanse ofte er et første steg på vegen mot en mer «behovsprøvd» bruk av innsatsfaktorer i planteproduksjon. Vi har avgrenset våre undersøkelser til metoder med tilhørende teknologi som enten allerede er i bruk, eller som er så langt kommet i utviklingen at de er i ferd med å/kan bli implementert. Videre har det vært en forutsetning at det eksisterer nok dokumentasjon på effektene av disse metodene til at vi har kunnet gjøre videre beregninger.

Både våre resultater og andre, internasjonale studier viser at PA langt fra alltid gir miljømessige eller økonomiske gevinster, og at disse ofte er små. En sammenligning av disse to alternative regimene

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

krever derfor en høy detaljeringsgrad med en svært detaljert spesifikasjon av forutsetningene. For å vurdere omfanget av presisjonsjordbruk i dag og tilhørende investeringskostnader, har vi samlet inn priser (dagens) og salgsvolum (akkumulert siste 5-6 år) for relevant utstyr og maskiner fra de viktigste leverandørene i Norge. I våre analyser har vi holdt oss til de tre arealmessig største planteproduksjonen her til lands; fulldyrka eng, korn og potet. Disse produksjonene har vi analysert innenfor rammene av to (fiktive) gårdsbruk, med størrelse og jordvariasjon som tilsier at investeringer i presisjonsteknologi kan være realistisk å vurdere. Vi har prøvd å definere brukene/produksjonene slik at de er representative for vesentlig flere bruk/større areal. I analysene har vi vurdert effekter av bruk av styreassistanse og presisjonskalking (alle vekstene), presisjongjødsling (korn og potet) og presisjonsprøyting med ugrasmidler (korn).

De miljømessige og økonomiske effektene av å ta i bruk disse prinsippene er gjennomgående sammenlignet med alternativet (ikke bruk av nye prinsipper og teknologi). Parametere og øvrige antagelser er satt konservativt, med støtte i litteraturen (der relevante studier eksisterer), personlige meddelelser fra personer som kjenner bransjen, gjennom diskusjon med kolleger, og etter eget skjønn.

Når det gjelder omfanget av PA i dag, så anslo vi ut fra solgt utstyr og kapasitet at det praktiseres på mellom 1 og 10 % av det samlede jordbruksarealet her i landet, der ulike former for styreassistanse er i bruk på nærmere 10 %, mens utstyr knyttet til VRT kan benyttes på under 1 % av arealet.

Den årlige, potensielle reduksjonen i klimagassutslipp knyttet til bruk av PA på det norske arealet som drives eller som kan drives som våre eksempelarealer, ble beregnet til ca. 28 000 tonn CO₂-ekvivalenter. Tilsvarende utgjorde redusert nitratavrenning 380 tonn NO₃-N og redusert bruk av plantevernmidler tilsvarende 500 tonn 1,4-DB-ekvivalenter. Den årlige økningen i verdiskapningen fra det samme arealet ble beregnet til ca. 120 mill. kroner.

Det vil kunne være kombinasjoner av produksjon/jordvariasjon/dyrkingspraksis som har en potensiell, positiv gevinst av PA som ikke er medregnet her. Dersom en antar at et tillegg på omtrent 25 % av det vi allerede har inkludert i analysene, så ville dagens PA i Norge årlig omfatte en potensiell reduksjon i utslippene på 35 000 tonn CO₂, 475 tonn NO₃-N og 625 tonn 1,4-DB-ekvivalenter, med en tilhørende økning i verdiskapningen på ca. 30 mill. til ca. 150 mill. kr.

Potensialet for presisjonsjordbruk vil kunne bli vesentlig større i nær framtid, etter hvert som både teknologi og tilhørende metodikk forbedres. Spesielt vil en videreutvikling av metodikken knyttet til presisjongjødsling av eng åpne for store gevinster på miljøsidene, siden dette er systemer med mye næringsstoff i omløp og eng er den arealmessig største veksten i landet. Økonomisk sett har imidlertid bruk av presisjonsteknologi kanskje det største potensialet, i hvert fall på gårdsnivå, på vekster med høy kilopris (typisk grønt og hagebruksproduksjoner).

LAND/COUNTRY:	Land: Norge
FYLKE/COUNTY:	Fylke: Akershus
KOMMUNE/MUNICIPALITY:	Kommune: Ås
STED/LOKALITET:	Sted: Ås

GODKJENT /APPROVED

Sjur Spildo Prestegard

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Leif Jarle Asheim

NAVN/NAME



Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn.....	5
2	Metode	6
2.1	Beregning av utbredelse av PA i Norge	6
2.2	Valg av scenarier for analyser av økonomisk og miljømessig nytteverdi	6
2.2.1	Fulldyrka eng	7
2.2.2	Korn	9
2.2.3	Potet.....	10
2.3	Beregning av potensiell miljømessig nytteverdi.....	10
2.3.1	Fulldyrka eng	10
2.3.2	Korn	13
2.3.3	Potet.....	18
2.4	Beregning av potensiell økonomisk nytteverdi	20
2.5	Beregning av samlet potensiell miljømessig og økonomisk nytteverdi.....	21
2.5.1	Fulldyrka eng	23
2.5.2	Korn	24
2.5.3	Potet.....	25
3	Resultater og diskusjon	26
3.1	Utbredelse av PA i Norge.....	26
3.2	Potensiell miljømessig nytteverdi på gårdsnivå	28
3.2.1	Fulldyrka eng	28
3.2.2	Korn	30
3.2.3	Potet.....	34
3.3	Potensiell økonomisk nytteverdi på gårdsnivå.....	35
3.3.1	Fulldyrka eng	35
3.3.2	Korn	38
3.3.3	Potet.....	43
3.4	Samlet økonomisk og miljømessig nytteverdi	44
3.4.1	Samlet miljømessig nytteverdi	44
3.4.2	Samlet økonomisk nytteverdi	46
4	Avsluttende kommentarer	49
	Litteratur	50

1 Bakgrunn

Vår ambisjon med denne utredningen er å gi til Styret for Forskningsmidler over jordbruksavtalen svar på deres bestilling om å få kartlagt omfanget av presisjonsjordbruk (PA) i Norge i dag og beregne potensiell miljømessig gevinst og kost-nytte-verdi ved å implementere slik teknologi.

PA handler om å bruke ny teknologi til å tilpasse behandlingen av jord og vekst etter behovet, som ofte varierer mye innenfor samme jordet. Vanligvis behandles hele jordet likt utfra et gjennomsnitt. Forskning innenfor PA handler i stor grad om å utvikle beslutningsstøtte-systemer for driftsledelse, med mål om å optimere utnyttelsesgraden av innsatsfaktorer og samtidig bevare ressursgrunnlaget (McBratney et al. 2005; Whelan and McBratney 2003). Ved PA tilpasses f.eks. gjødselmengde, mengde sprøtemidler og kalkmengde ut fra det stedsspesifikke behovet. Dette behovet kartlegges ved å sette sammen informasjon fra mange kilder, der ulike sensorer, kamera og GNSS (globale navigasjonssystemer) spiller en sentral rolle. Slikt utstyr kan monteres på traktoren, på selvgående roboter, på UAV (ubemannet helikopter eller fly, ofte kalt drone) eller på satellitter.

I løpet av det siste tiåret har presisjonsjordbruk her til lands gått fra å være en litt sær, men spennende framtidvisjon, til noe mange gårdbrukere ønsker å investere i for å optimalisere drifta. Bruk av presisjonsjordbruksteknikker i praksis er derfor noe vi har relativt kort erfaring med. FoU innen presisjonsjordbruk har foregått siden 2001 i Norge, men fokus har her vært i skjæringspunktet mellom teknologi og agronomi, og i liten grad på miljøvirkninger og økonomi. Det innebærer at vi har til dels svært begrenset datagrunnlag i Norge for denne utredningen, og at vi derfor har måttet gjøre mange antagelser, dels med støtte i resultater fra andre land. Det knytter seg derfor en god porsjon usikkerhet til estimatene.

Vi har ansett informasjonssystemet gårdskart (www.gårdskart.no) og beslutningssystemet VIPS (Varsling Innen PlanteSkadegjørere) til å ligge utenfor PA, siden disse systemene mangler en romlig oppløsning som gjør dem egnet til å håndtere steds-spesifikk behandling. Videre er problemstillinger knyttet opp mot beiting og overvåking av husdyr holdt utenfor utredningen, da vi ikke oppfatter dette som del av bestillingen.

Det er til dels nokså små forskjeller mellom effektene av ensartet (tradisjonell) og stedsspesifikk behandling av jorda (presisjonsjordbruk), og analysene krever derfor en svært detaljert spesifikasjon av forutsetningene. Når vi har gjort beregninger per arealenhet har vi videre gjort dette ut fra en vurdering av arealstørrelser for vedkommende vekst, som vi har prøvd å definere slik at de blir mest mulig realistiske for enheter som vi antar kan komme til å investere i presisjonsjordbruk. Resultatene har deretter blitt brukt som et utgangspunkt for å beregne potensialet på nasjonalt nivå, der vi har prøvd å ta høyde for den store usikkerheten som ligger både i beregningsmetodene og i hvor stor grad resultatene for våre valgte eksempler er representative på en større skala.

2 Metode

2.1 Beregning av utbredelse av PA i Norge

For å skaffe et datagrunnlag for å vurdere utbredelsen av presisjonsjordbruk i Norge i dag, ble det samlet inn data om priser og salgsvolum på relevante maskiner og utstyr som har blitt solgt i det norske markedet de siste årene. Dette arbeidet ble gjort i samarbeid med NLR, som også trengte disse data som del av sin parallelle utredningsprosess («Omfanget av- og erfaringa med presisjonslandbruk i Noreg»).

Først ble det utarbeidet et spørreskjema som ble designet slik at det skulle gi svar på alle spørsmål relatert til traktorer og utstyr som var etterspurt fra begge utredningene. Skjemaet ble deretter (i desember 2018) sendt på e-post til de viktigste forhandlerne og importørene av landbruksmaskiner og utstyr, som til sammen dekker det aller meste av omsetningen av relevante maskiner i Norge. Forespørselen ble i all hovedsak adressert til produktansvarlig hos de respektive aktørene, og alle svarte.

Ved behov ble det tatt kontakt med den enkelte forhandler for mer detaljert informasjon. Dette var i mange tilfeller nødvendig, siden utstyret ofte var priset som en totalpakke der summen naturlig nok var avhengig av hvilke enkeltkomponenter som var inkludert. I enkelte tilfeller trengtes også mer informasjon om tilleggskomponenter som var nødvendig for å oppnå fullstendig funksjon på utstyret. Det var dessuten et mål å kategorisere materialet på en slik måte at kategoriene var mest mulig sammenlignbare med hensyn til funksjon/utstyrsnivå, noe som ofte krevde en grundig gjennomgang med forhandler.

2.2 Valg av scenarier for analyser av økonomisk og miljømessig nytteverdi

For å kunne analysere nytteverdien av PA, både økonomisk og miljømessig, er det nødvendig å velge ut noen kombinasjoner av produksjonsform/vekst og teknologi. Vi har valgt å gjennomføre analyser av økonomisk og miljømessig nytteverdi av PA for de tre vekstene som er arealmessig størst på fulldyrka areal i Norge; fulldyrka eng, korn og potet. Vekstene dekker til sammen over 95 % av samlet fulldyrka areal (SSB 2015). Metodene som benyttes innenfor presisjonsjordbruk er i høyeste grad også relevant for vekster som bare dekker en liten del av norsk landbruksareal, men datatilfanget her er svært mangelfullt, i tillegg til at samlet, potensiell miljøgevinst (i et nasjonalt perspektiv) blir svært liten.

I valget av teknologiske løsninger har vi gjort en vurdering av hvorvidt det er dokumentert at de faktisk fungerer under norske forhold. Der slik dokumentasjon har manglet, har den teknologiske løsningen enten blitt ekskludert, eller den har blitt inkludert (i mangel av bedre alternativ), men gitt liten vekt på grunn av stor usikkerhet.

Vi vil først adressere to teknologiske løsninger som i prinsippet kan brukes ved dyrking av alle vekster; styreassistanse (av traktor) og presisjonskalking. Videre vil vi beskrive vekstspesifikke scenarier med utvalgte applikasjoner for de tre utvalgte vekstene.

Styreassistanse er isolert sett ikke en forutsetning for stedsspesifikk behandling av jord og vekst. Slikt utstyr kan like gjerne anvendes i det tradisjonelle jordbruket, der målet er jevnest mulig behandling innenfor et skifte. Vi har likevel valgt å inkludere bruken av denne type teknologi her, siden metoden bidrar til å øke nøyaktigheten av alle operasjoner, uansett om målet er uniform eller differensiert behandling. For mange vil det å ta i bruk en eller annen form for styreassistanse ofte være en inngang til å etter hvert også vurdere andre typer presisjonsutstyr. Det er allerede solgt en god del utstyr for styreassistanse (jfr. kap. 3.1). Det finnes ulike løsninger for styreassistanse, der den enkleste kalles

visuell sporfølger. Den består av en visuell indikasjon (lysdiode, e.l.) for sjåføren om justering av kursen ved avvik fra ønsket retning, der et eventuelt avvik beregnes ved hjelp av posisjoneringssignal fra en GNSS-mottager (GNSS: Global Navigation Satellite System) som normalt er montert på traktortaket. Neste steg er en mer automatisert tilnærming – automatisk sporfølger/rattstyring, der en motor er koblet til rattet/rattstammen, og der kursjusteringen skjer automatisk uten at sjåføren berører rattet (forutsetter også GNSS-mottager). Den mest avanserte og nøyaktige metoden kalles autostyring, som er et system der kursjusteringen skjer direkte via hydraulikkpumpa for traktorens servostyring. Her benyttes dessuten normalt det mest nøyaktige GNSS-systemet med RTK (Real-Time Kinematic) og med korreksjonssignal enten i form av Kartverkets CPOS-signal (CPOS: gir posisjonering med nøyaktighet på cm-nivå) eller med egen basestasjon på gården.

Presisjonskalking har en avgjørende plass i presisjonsjordbruket, siden pH påvirker det agronomiske systemet på mange vis, og stedsspesifikk tildeling av kalk muliggjør en utjevning av pH på skifter med stor variasjon. Erfaring har vist at varierende pH innen samme skifte er heller regelen enn unntaket. I dag blir presisjonskalking utelukkende gjennomført som en innleid tjeneste. Metoden forutsetter at jordprøvetakingen, som kommer først, er gjort med koordinatfesting av hver jordprøve.

Jordprøvetakingen kan gjennomføres av bonden selv (med hjelp av en enkel GNSS-mottager for koordinatfestingen), eller tjenesten kan settes bort til f.eks. NLR eller andre tjenestetilbydere. Når jordprøvene er tatt, bestemmes pH og jordart for hver prøve i lab, og kalkingsbehovet beregnes deretter i hvert prøvepunkt. Så blir resultatene interpolert og den resulterende styrefila med informasjon om stedsspesifikk kalkmengde overføres til styreenheten for kalksprederen, som er plassert i traktoren som brukes til å spre kalken. Kjøringen blir gjort med bruk av styreassistanse.

Selv om styreassistanse (av traktor) og presisjonskalking er relevant for alle vekster dyrket på friland, vil effektene på miljø og økonomi likevel skille noe mellom de enkelte vekstene, og disse to teknologiene vil derfor behandles spesifikt for hver vekst.

2.2.1 Fulldyrka eng

Arealet av eng til slått og beite utgjorde til sammen 6,5 millioner dekar i 2015. Arealet av eng til slått og beite deles inn i fulldyrka eng, overflatedyrka eng og innmarksbeite. Fordelene med PA er i hovedsak på fulldyrka eng som utgjorde 4,7 millioner dekar. Overflatedyrka eng og innmarksbeite utgjorde 1,8 millioner dekar (SSB 2017). Generelt gir innmarksbeite mindre avling enn fulldyrka og overflatedyrka eng. I de senere årene har arealet av innmarksbeite økt, mens overflatedyrka eng har minket. Fordelene med bruk av PA på overflatedyrka eng og på innmarksbeite er antatt å være små.

Vi har ikke tall for areal fulldyrka eng per bruker, og i mange sammenhenger skilles ikke mellom eng og beite. I driftsgranskingene, som representerer yrkesmessig drevne bruk, ligger det gjennomsnittlige arealet for eng og beite mellom 350 og 360 daa for driftsformene mjølk og kjøttfe, mellom 305 og 315 daa for mjølk-svin og melk-sau, mens det for sauehold var 232 daa og for geit 163 daa. Vi foretar beregninger for en driftsenhet med 400 daa fulldyrka eng, altså over landsgjennomsnittet. Arealvalget er begrunnet i at presisjonsteknologien ser ut til å bli tatt raskere i bruk av de største produsentene. Jorda er ei moldholdig lettleire og bruket ligger på indre Østlandet. I produksjonen brukes både husdyrgjødsel og mineralgjødsel. Glyfosat benyttes før pløying av enga, men her er det ikke aktuelt å justere dosene stedsspesifikt. Presisjonsrelatert teknologi samt tilhørende forutsetninger som inkluderes i de videre analysene for eng er:

- Traktor med styreassistanse brukt til alle operasjoner på jordet (engfornyelse, gjødselspredning, innhøsting). Beregninger gjøres for alle tre typene av styreassistanse.
- Arealet presisjonskalles hvert 5. år, med innleid jordprøvetaking (inkl. framstilling av styrefil basert på labanalysene) og innleid kalkspredning. Vi har forutsatt at jordas utgangsverdi i pH hadde et spenn fra 5,2 til 6,2, med en arealmessig jevn fordeling over hele spennet. Kalkspredning blir gjennomført med automatisk sporfølger.

Avgrensning: Vi har ikke inkludert bruk av faste kjørespor i våre analyser. Faste kjørespor innebærer at en har tilpasset maskinenes hjulavstand og arbeidsbredde på all redskap slik at det er mulig å kjøre i de samme sporene ved hver behandling. Metoden konsentrerer dermed jordpakkingen til kjøresporene, mens alt øvrig areal blir skånet. Det er nesten ingen i Norge som praktiserer denne metoden i dag, og det skyldes nok først og fremst at det er utfordrende og kostbart å oppgradere hele maskin- og utstyrsparken så det passer med et slikt regime.

Avlingskartlegging er heller ikke tatt med i de videre analysene. I dag registreres engavling i all hovedsak etter høsting ved å telle og veie rundballene og ta ut kontrollprøver for å bestemme tørrstoff (og fôr kvalitet). Denne informasjonen kan tilbakeføres til det enkelte skiftet, men koordinatfesting av hvor graset til hver rundball er høstet fra mangler. Steds spesifikk, innomfelts avlingsinformasjon kan følgelig ikke framskaffes ved bruk av denne metoden.

Det finnes imidlertid utstyr som i utgangspunktet kan brukes til sanntidsmåling av grasavlingen ved høsting når en ikke baserer innhøstingen på rundballepressing. På det norske markedet tilbys en selvgående fôr høster som finsnitter graset og blåser det over i en tilhenger som kjøres ved siden av. Graset vil deretter normalt transporteres til og lagres i en plan- eller tårnsilo. De nyeste modellene kan utstyres med en NIR-sensor montert på tuten, som skal kunne brukes til å registrere grasmengde og noen kvalitetsparametere. Kombinert med påmontert GNSS-mottager, vil utstyret dermed kunne produsere grunnlagsdata nødvendig for å framstille avlingskart. Det knytter seg imidlertid stor usikkerhet til nøyaktigheten av dette utstyret, siden det ikke er kalibrert for norske forhold, og det foreligger per nå heller ingen uavhengig test av utstyret her til lands. I denne sammenheng kan nevnes at det er utviklet en annen metode for avlings- og kvalitetsestimering av eng ved Senter for presisjonsjordbruk, basert på måling før høsting med en sensor montert på en UAV (Geipel et al. 2017). Metoden gir meget lovende resultater under norske forhold, men en del arbeid gjenstår før en eventuelt kan tilby en slik tjeneste på gårdsnivå.

Det er verdt å understreke at stedsspesifikk avlingskartlegging i seg selv hverken bidrar med økonomiske eller miljømessige gevinster. Slik informasjon kan imidlertid gi et nyttig grunnlag for feilsøking (identifisere områder med unormalt lave avlinger sammenlignet med omgivelsene, og identifisere eventuelle mangler), og den kan brukes som én av flere informasjonskilder for å bestemme optimale gjødselmengder (og vurdere behov for fornying). Videre skal man ikke undervurdere at mer presis avlingskartlegging for eng vil gi økonomiske gevinster i form av bedre grunnlag for fôrplanlegging og vinterfôring til drøvtyggere.

Bruk av traktormontert sensor for variabel tildeling av nitrogengjødsel til eng er ikke inkludert. Dette skyldes at det metodiske grunnlaget for stedsspesifikk N-gjødsling til eng foreløpig er for lite utviklet. Det er lite aktuelt å kjøre gjennom eng når graset er på et utviklingsstadium der delgjødsling er naturlig for korn, siden en da risikerer å kjøre ned mye gras. Etter vår kunnskap er det heller ingen i Norge som presisjonsgjødsler eng i dag. En alternativ strategi kan være å justere gjødslingsmengden til andre (og tredje) slått ut fra informasjon om stedsspesifikk avling av foregående slått. I engsystemer kompliseres imidlertid bilde ytterligere av at det normalt er mer organisk N i systemet (spesielt i form av husdyrgjødsel) enn i kornsystemer, noe som innebærer at mineralisering av organisk N blir en viktig faktor i næringsforsyningen. Det skjer en god del FoU på dette området, der f.eks. vi nå jobber med å utvikle en modellbasert tilnærming for presisjonsgjødsling av eng som kombinerer sensormåling med plantevekstmodellering (IMPRESS-prosjektet, 2018-2022, finansiert av bl.a. Yara og Fondet for jordbruk og matindustri), men det er for tidlig å legge en slik metode til grunn for analysene som skal gjøres i denne utredningen.

Teknologiutviklingen for variabel tildeling av husdyrgjødsel er alt for kort kommet til å kunne utredes med hensyn på økonomi og miljø. Fortsatt handler det på dette feltet mer om å kunne fordele husdyrgjødsel jevnest mulig over arealet, og da er styreassistanse et nøkkelord. På utprøvningsnivå finnes det utstyr for kontinuerlig måling av tørrstoff i gjødseltanken, men selv om nøyaktigheten her etter hvert skulle nå et akseptabelt nivå, gir slik informasjon et mangelfullt grunnlag for å variere

gjødselmengden. Her kan nevnes at nesten alt plantetilgjengelig nitrogen befinner seg i den flytende fraksjonen av husdyrgjødsel, mens fosfor og kalium er primært i den faste fraksjonen. Næringsbehovet vil imidlertid kunne variere ulikt mellom de ulike næringsstoffene, noe som vanskeliggjør en meningsfull variert tildeling av husdyrgjødsel. Fraksjonsseparering vil kunne redusere problemet noe, men dette er en kostbar og lite effektiv løsning.

2.2.2 Korn

Korn- og oljevekstarealet var 2,87 millioner dekar i 2017. Arealet økte årlig fram til først på 1990-tallet da det nådde 3,7 millioner dekar. Senere har arealet minnet. Arealfordelingen i 2017 var ca. 47 % bygg, 24 % havre, 16 % vårhvete, 11 % høsthvete og 3 % rug og rughvete (SSB 2017).

I dette scenariet har vi definert et gårdsbruk på til sammen 1000 daa, med 400 daa bygg, 400 daa vårhvete og 200 daa potet, uten bruk av husdyrgjødsel. Som i eng-scenariet har vi lagt oss over landsgjennomsnittet arealmessig (med samme begrunnelse), og jord og lokasjon er som for engbruket. For kornvekstene inkluderes følgende presisjonsteknologi med tilhørende forutsetninger:

- Traktor med styreassistanse brukes for alle arbeidsoperasjoner på jordet. Beregninger gjøres for alle tre typene av styreassistanse.
- Arealet presisjonskalles hvert 6. år.
- Stedsspesifikk delgjødsling med N-gjødsel i sanntid (on-the-go) ved hjelp av traktormontert sensor i kombinasjon med gjødselspreder egnet for variabel mengdetildeling (VRA; variable rate application). Komplette utstyr med sjåfør leies inn for å gjennomføre delgjødslingen.
- Presisjonsugrasssprøyting basert på høyoppløselige kamera montert på sprøytebommen og fortløpende bildeanalyse.

Avgrensning: Stedsspesifikk sprøyting av sopp- og innsektmidler er ikke inkludert, siden det per i dag ikke foreligger noen gode, fungerende løsninger for dette. Det er riktignok gjort noen spede forsøk på å bruke biomasse som en indikator for å justere mengden soppmidler, men dette har intet forskningsmessig fundament: Noen sopper favoriseres av tett biomasse, mens andre nyter fordel av glissen åker. Dessuten brer både sopp- og innsektangrep i kornåkeren seg raskt utover, og en stedsspesifikk behandling innebærer derfor en viss risiko for at en ikke eliminerer hele problemet, slik at en kan få en uheldig oppblomstring av skadegjøreren kort tid etter sprøyting.

Som for enga er avlingskartlegging ikke inkludert. Det finnes mange ulike og velprøvde metoder for å registrere avling fortløpende under tresking. Felles for disse er at en sensor (ulike typer benyttes) er montert i eller nær kornelevatoren, og den registrerer fortløpende kornmengden som passerer på veg opp i skurtreskerens korntank. Posisjon og fart registreres via GNSS-utstyr påmontert treskeren, mens bredden på skjæreboret er gitt, og sammen kan denne informasjonen nyttes til å beregne kornavlingen stedsspesifikt. Slike data har riktignok en del feil (særlig rundt vendeteiger, ved eventuelle stopp i åkeren og der skjærebordet ikke har blitt benyttet i full bredde), men etter en fornuftig korreksjon gir slike data grunnlag for å produsere relativt gode avlingskart. Grunnen til at vi ikke inkluderer metoden her er at slike avlingskart i svært liten grad benyttes til noe mer operativt enn feilsøking. Informasjon om fjorårets avling er lite egnet til å styre årets gjødslingsmengder. Dette skyldes dels at det ofte er stor variasjon i avlingsnivået mellom år, dels at de relative forskjellene innenfor samme jordstykke også endrer seg. Det finnes riktignok ofte områder som gir lave relative avlinger hvert år (typisk i vendeteiger), men de områdene på skiftet med høyest avling kan variere mellom år. I England har noen enkeltprodusenter brukt avlingsdata fra ett år til å styre etterfølgende års tildeling av fosfor- og kaliummengder stedsspesifikt, ut fra en beregning av hvor mye P og K som er fjernet via avlingen, og informasjon om jordas næringsstatus fra jordprøver. Denne tilnærmingen er lite aktuell i Norge, først og fremst på grunn av at ren P- og K-gjødsel er vesentlig dyrere per kilo næringsstoff enn i

fullgjødselslagene (inneholder både N, P og K). I stedet gjøres justeringer av P og K primært gjennom valg av gjødselslag her til lands, noe som innebærer små muligheter for variabel tildeling.

2.2.3 Potet

Areal med poteter utgjorde knapt 120 000 dekar i 2015, en kraftig nedgang fra 526 000 daa i 1959. I 2015 var 74 % av potetarealet er på bruk med mer enn 100 daa og 46 % på bruk med mer enn 200 daa. Andelen med mindre enheter var lavest på Vestlandet her var 26 % på bruk med mer enn 200 daa (SSB 2015).

I dette scenariet tar vi altså utgangspunkt i en produsent som dyrker potet på 200 daa hvert år (i tillegg til 400 daa av både bygg og vårhvete).

- Traktor med styreassistanse brukes for alle arbeidsoperasjoner som skjer i forbindelse med etablering av potetfårer og etterfølgende behandlinger. Beregninger gjøres for alle tre typene av styreassistanse.
- Arealet presisjonskalkes hvert 6. år (samme forutsetninger som for korn).
- Stedsspesifikk delgjødsling med N-gjødsel i sanntid (on-the-go) ved hjelp av traktormontert sensor i kombinasjon med gjødselspreder egnet for variabel mengdetildeling (VRA; variable rate application). Komplette utstyr med sjåfør leies inn for å gjennomføre delgjødslingen.

Avgrensning: Presisjonssprøyting for kontroll av ugras og skadegjørere er ikke inkludert. Stedsspesifikk ugrasssprøyting brukes ikke i praksis ved potetdyrking, og forskning på området ser ut til å være fraværende. For sprøyting mot insekter og sopp gjelder dessuten det samme argumentet som omtalt for korn, at flekkvis sprøyting gir stor risiko for at en ikke får fjernet problemet helt, og at en eventuell oppblomstring av skadegjøreren etter sprøyting kan ha store, negative konsekvenser på kulturplanten.

2.3 Beregning av potensiell miljømessig nytteverdi

For å kunne kvantifisere potensiell miljømessig nytteverdi, må det gjøres ytterligere spesifiseringer av de ulike scenariene (delvis også relevante for å beregne økonomiske effekter). Valgte forutsetninger samt beskrivelse av metode for beregningene er i det følgende spesifisert for hver vekst og for hver presisjonsrelatert teknikk.

2.3.1 Fulldyrka eng

2.3.1.1 Traktor med styreassistanse

Nøyaktigere styring bidrar til mindre overlapp og dermed spart diesel, tid og innsatsfaktorer. Graden av overlapp ved manglende styreassistanse ble satt ut fra erfaringer fra praksis og er sett i sammenheng med redskapenes arbeidsbredde. Dieselforbruk ble estimert ut fra metodikk beskrevet av Henriksen og Korsæth (2013) og Roer et al. (2013). Dette innebærer bl.a. at arbeidet utført med traktor ble klassifisert som enten lett, medium eller tungt, og dieselforbruket ble satt til henholdsvis 0,12, 0,19 og 0,25 liter per kW motoreffekt. Arbeidsbredde for kjemisk brakking/ugrasssprøyting ble økt fra 10 til 12 m, siden dette ble antatt å være mer representativt her enn for gjennomsnittsbuket definert av Johansen et al. (2013).

Tabell 1. Forutsetninger for beregning av utslippsreduksjon ved bruk av styreassistanse

Prosess	Frekvens antall/år	Traktor kW	Diesel liter/t/kW	Arbeidstid t/daa	Diesel l/daa	Arbeids- bredde m	Overlapp cm ¹
Kjemisk brakking	0,20	90	0,12	0,039	0,42	12	15
Kalking	0,20	120	0,19	0,023	0,52	12	15
Spredning husdyrgjødsel	2,00	90	0,19	0,107	1,83	12	15
Spredning mineralgjødsel	3,00	90	0,12	0,015	0,16	12	15
Såing	0,20	40	0,12	0,055	0,26	3	5
Ugrassprøyting	1,00	90	0,12	0,039	0,42	12	15
Slått	3,00	90	0,19	0,060	1,03	2,8	15

¹ Bruk av visuell sporfølger, automatisk rattstyring eller autostyring reduserte denne overlappen til hhv. 10 (gjelder ikke såing der det ble antatt kjøring med markør), 5 og 2 cm, jfr. antatt nøyaktighet på utstyret.

Utslipet av CO₂ relatert til dieselforbruk ble beregnet ut fra en omregningsfaktor på 2.60016 kg CO₂-ekvivalenter per liter diesel (National Energy Foundation 2017). Utslipp relatert til innsparte innsatsfaktorer som kalk, mineralgjødsel og plantevern er basert på Roer et al. (2013), som beregnet klimagassutslipp relatert til produksjonen av grovfôr i de tre viktigste regionene for melkeproduksjon i Norge ved hjelp av LCA.

Gjødslingsregimet til enga ble satt likt et bruk med intensiv grasproduksjon som ble analysert i en oppfølgingsundersøkelse til LCA-studien til Roer et al. (2013) (Bakken et al. 2017), slik at det her ble antatt en gjødselmengde tilsvarende 18,2 kg N/daa som husdyrgjødsel og 16 kg N/daa som mineralgjødsel. Det ble dessuten antatt en årlig mineralisering fra jordas humus på 5 kg N/daa.

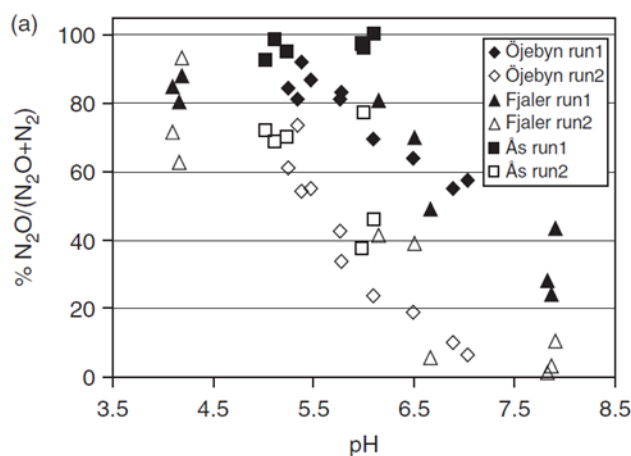
2.3.1.2 Presisjonskalking

Kalking er en viktig kilde til CO₂-utslipp. Vi antar her at det spres samme mengde kalk totalt både ved stedsspesifikk og ensartet tildeling. Siden vi er ute etter å belyse forskjellen mellom disse to scenarioene, inkluderes bare de direkte CO₂-utslippene i tilfeller der vi har antatt at det er forskjeller i den totale kalkmengden som er spredt på arealet. I vårt basis-scenario har vi antatt at det spres samme kalkmengde totalt, uavhengig av spredemetode. Vi har forutsatt at en ved presisjonskalking tar én jordprøver per 8 daa, mens en ved ensartet kalking bare tar halvparten så mange jordprøver (én per 16 daa). Vi har i første omgang antatt at en ved ensartet spredning har estimert riktig gjennomsnittlig pH. Færre jordprøver øker imidlertid risikoen for at en ikke får et korrekt bilde av pH på et skifte. Vi har derfor også undersøkt effekten av at gjennomsnittlig pH ble overestimert. En overvurdering av pH-nivået ville bidratt til for lav antatt kalkmengde for å nå målet om pH 6,2. Det blir imidlertid feil å korrigere for dette i form av en reduksjon i utslippene pga. mindre kalkforbruk, siden feilen vil måtte kompenseres på et senere tidspunkt med en tilsvarende økning i kalkmengden.

Den miljømessige hovedeffekten av spredemetode er dermed grunnet forskjeller i lystgassutslipp. Lystgass (N₂O) er en potent drivhusgass som det er vanskelig å estimere utslippene av, siden det er påvist svært store variasjoner i både tid og rom (Russenes et al. 2016). Gjennom rammeverket til ICCP (ICCP 2007) estimeres lystgasstap som 1 % av tilført nitrogen (via gjødsel og gjennom mineralisering av organisk materiale). Denne temmelig grovkornede metoden kan følgelig ikke benyttes alene her, siden den hverken fanger opp effekter av pH eller av behovstilpasset gjødsling. I det følgende beskrives vår tilnærming til å kvantifisere N₂O-utslippene.

Det er påvist en overbevisende sammenheng mellom pH og andelen N₂O av det samlede nitrose gasstapet (N₂O pluss N₂) som skjer gjennom både nitrifikasjon (Mørkved et al. 2007) og denitrifikasjon (Liu et al. 2010). I forhold til utslippsmengder av N₂O, er denitrifikasjon den altoverskyggende prosessen. Sammenhengen mellom pH og risikoen for N₂O-utslipp gjennom

denitrifikasjon ser ut til å være relativt universell for jordbruksjord, slik Liu et al. (2010, figur 2) viste i figuren under:



Denitrification rates and gas product ratios [$N_2O : (N_2 + N_2O)$] during anoxic incubation of soils from three liming experiments: Fjaler, Öjebyn and Ås. Product ratios (a) are expressed as molar % N_2O [$N_2O : (N_2 + N_2O)$] and denitrification rates

Jo lavere pH er i jord, desto større andel N_2O er det i gassen som oppstår ved denitrifikasjon. Sammenhengen sier imidlertid ingen ting om hvor mye som denitrifiseres. Denitrifikasjon er en mikrobiell prosess som styres bl.a. av mikroorganismenes tilgang på nitrat, organisk materiale, og oksygen i jorda. Denitrifikasjon er en anaerob prosess som inntreffer når oksygenivået i jorda avtar, slik at det oppstår lommer uten oksygen (forutsatt at det er nok nitrat og organisk material tilstede). I ei typisk jordbruksjord er det normalt nok organisk material til stede, slik at mengden gass som oppstår gjennom denitrifikasjon primært påvirkes av nedbørsforhold (vann fortrenger oksygen) og mengden nitrat i jorda. Vi forutsatt ensartet gjødsling av arealet.

For å vurdere effekten av kalking på utslippene har vi tatt utgangspunkt i sammenhengen mellom pH og N_2O -andelen av denitrifikasjonstapet illustrert i figuren over (Liu et al. 2010). Dette tilsynelatende lineære forholdet kan beskrives som:

$$\text{Andel } N_2O (\%) = 230 - 28,8 \text{ pH} \quad (1)$$

For spennet i pH definert for engarealet ga dette en andel N_2O på 43 % ved pH 6,5 og 80 % ved pH 5,2. Sagt på en annen måte så er risikoen for N_2O -tap nesten dobbelt så høy (87% høyere) ved pH 5,2 som ved pH 6,5 (Tabell 2).

Tabell 2. Anslått risiko for utslipp av N₂O basert på en sammenheng mellom pH og andel N₂O av denitrifikasjonsbaserte utslipp basert på Liu et al. (2010)

pH	Andel N ₂ O ¹ %	Risiko for utslipp ²
5,2	80	1,12
5,3	77	1,08
5,4	74	1,04
5,5	72	1,00
5,6	69	0,96
5,7	66	0,92
5,8	63	0,88
5,9	60	0,84
6,0	57	0,80
6,1	54	0,76
6,2	51	0,72
6,3	49	0,68
6,4	46	0,64
6,5	43	0,60

¹ Andel N₂O i gassen fra denitrifikasjonsprosessen ($N_2O/(N_2O+N_2)$).

² Beregnet risiko for N₂O-utslipp for ulike pH relativt til risiko ved pH 5,5.

For å kvantifisere N₂O-utslippene ble neste steg å anslå utslippene ved en gitt pH. Rivedal og Wæraas Aune (2019) sammenstilte norske undersøkelser med måling av N₂O-utslipp fra eng. De fant at utslippsfaktoren (andel N₂O-N emittert i prosent av tilført N; EF) lå i området 1,0-1,1 for mineraljord gjødslet med mineralgjødsel, mens husdyrgjødsel hadde et spenn i EF på 0,0-1,5. De fleste av disse resultatene stammet fra et felt med pH 5,8 (Hansen et al. 2014). Målinger av utslipp fra myr som var omgravid eller drenert og gjødslet med mineralgjødsel var til dels vesentlig høyere (0,9-3,4 %).

Vi valgte å legge oss på et konservativt nivå ved å bruke IPCCs anslag på 1 % (IPCC 2007) for både mineral- og husdyrgjødsel, og vi antok at dette var noenlunde dekkende for pH 5,8. Effekten av pH på N₂O-utslippene kunne deretter beregnes for hver pH-enhet i det forutsatte spennet.

2.3.2 Korn

2.3.2.1 Traktor med styreassistanse

Metodisk tilnærming var omtrent den samme som for eng. Dieselforbruk ble estimert ut fra metodikk beskrevet av Henriksen og Korsæth (2013), og forutsetningene er spesifisert i Tabell 3.

Arbeidsbredden for kjemisk brakking/ugrassprøyting ble økt fra 10 m til 18 m, for å være mer representativt for bruket definert her.

Tabell 3. Forutsetninger for beregning av utslippsreduksjon ved bruk av styreassistanse i kornproduksjonen

Prosess	Frekvens antall/år	Traktor kW	Diesel liter/t/kW	Arbeidstid t/daa	Diesel l/daa	Arbeids-	
						Bredde m	Overlapp ¹ cm
Kjemisk brakking	0,33	90	0,12	0,039	0,42	15	15
Kalking	0,17	120	0,19	0,023	0,52	12	15
Delgjødsling	1,00	90	0,12	0,015	0,16	12	15
Såing og gjødsling	1,00	90	0,12	0,055	0,59	3	5
Ugrassprøyting	2,00	90	0,12	0,039	0,42	15	10
Tresking ²	1,00	95	0,19	0,079	1,43	4	10

¹ Bruk av visuell sporfølger, automatisk rattstyring eller autostyring reduserte denne overlappen til hhv. 10 (gjelder ikke såing der det ble antatt kjøring med markør), 5 og 2 cm, jfr. antatt nøyaktighet på utstyret.

² Skurtresker var forutsatt å ha kun vanlig, manuell styring.

Utslippt av CO₂ relatert til dieselforbruk ble beregnet som beskrevet for eng. Utslipp relatert til innsparte innsatsfaktorer som kalk, mineralgjødsel og plantevern er basert på Korsæth et al. (2014), som beregnet klimagassutslipp relatert til produksjonen av bygg og vårhvete for typiske kornbruk i de viktigste kornregionene ved hjelp av LCA.

Antatt gjødsling ble økt noe i forhold til gjennomsnittsbruket definert i Korsæth et al. (2014), med vår- og delgjødsling tilsvarende 7+7 kg N/daa (til sammen 14 kg N/daa) og 8+4 kg N/daa (til sammen 12 kg N/daa) for hhv. vårhvete og bygg.

2.3.2.2 Presisjonskalking

Metoden for å beregne sammenhengen mellom risiko for N₂O-utslipp og pH var som beskrevet for eng. I målinger gjennomført på Ås (pH 5,95) beregnet Nadeem et al. (2014) utslippsfaktoren for bygg til 0,37-0,40 (måleperiode 190 dager), mens tilsvarende for vårhvete var 0,73-0,96 (måleperiode 220 dager). Siden målingene ikke representerte et fullt år, valgte vi å sette utslippsfaktorene litt i overkant av det Nadeem et al. (2014) rapporterte, med 0,6 og 1,0 for hhv. bygg og hvete ved pH 6,0.

2.3.2.3 Presisjongjødsling

Vi antar at delgjødsling ble gjennomført som en leid tjeneste, der leiekjører står for traktor, sensorsystem og tilhørende gjødselspreder tilpasset VRA. Det finnes flere sensorsystemer på markedet, der en enten benytter en aktiv eller en passiv sensor. En aktiv sensor har en egen lyskilde som induserer den nødvendige lysrefleksjonen fra plantene for estimering av N-behov. En aktiv sensor kan i prinsippet brukes døgnet rundt, i motsetning til passive sensorer som bruker sola som lyskilden og som derfor bare kan brukes i fullt dagslys (maksimum 11 timer per dag i Sør-Norge). Prisen for en aktiv sensor er nesten dobbelt så høy som den passive, og vi har regnet på begge alternativene.

Presisjongjødsling har en potensiell effekt på N-utnyttingsgraden, og dermed på risikoen for tap av ubenyttet N til miljøet. For å illustrere dette har vi laget et scenario der vi har et skifte som er inndelt i ti like store klasser ut fra faktisk N-gjødselbehov (Tabell 4). Vi la til grunn at en ved presisjongjødsling gjødslet riktig, slik at differansen mellom ensartet gjødslingsmengde og mengden tildelt med presisjonsteknologi viser hvor mye en gjødslet for mye/lite innenfor hver klasse ved ensartet gjødsling. Mengden N gjødslet om våren ved såing var den samme i begge tilfeller (7 kg N/daa), og samlet gjødselmengde tildelt som delgjødsling var også den samme. Eneste forskjell var dermed ulik fordeling av N tildelt ved delgjødsling.

Tabell 4. Et scenario for vårhvete der arealet består av ti like store klasser inndelt etter stedsspesifikt N-behov. Om våren (ved såing) ble halvparten av gjødsla (7 kg N/daa) fordelt likt over hele arealet. Resten ble gjødslet senere i sesongen, der delgjødslingsmengden enten ble fordelt ensartet (E) eller stedsspesifikt i form av presisjonsgjødsling (P). Alle verdier er uttrykt som kg N/daa

Klasse	Vårgjødsling	Delgjødsling		Sum tildelt		For mye	For lite
		E	P	E	P	E	E
1	7	7	1,0	14,0	8,0	6,0	0,0
2	7	7	2,0	14,0	9,0	5,0	0,0
3	7	7	9,0	14,0	16,0	0,0	-2,0
4	7	7	8,9	14,0	15,9	0,0	-1,9
5	7	7	8,7	14,0	15,7	0,0	-1,7
6	7	7	8,5	14,0	15,5	0,0	-1,5
7	7	7	8,3	14,0	15,3	0,0	-1,3
8	7	7	8,1	14,0	15,1	0,0	-1,1
9	7	7	7,9	14,0	14,9	0,0	-0,9
10	7	7	7,7	14,0	14,7	0,0	-0,7
Middel	7	7	7,0	14,0	14,0	1,1	-1,1

Mengden delgjødning ble antatt å variere mellom 1 og 9 kg N/daa. Dette er i tråd med Söderström et al. (2004), som undersøkte fordelingen av nitrogen tilført ved delgjødning i 135 hveteåkre som ble presisjonsgjødslet med N-sensor i Sverige. Det lave N-behovet i klasse 1 og 2 illustrerer områder i åkren der biomassen av en eller annen årsak er såpass lav at avlingspotensialet blir begrenset og N-sensorens såkalte cut-off-funksjon trer inn (Söderström et al. 2004). Fra klasse 3-10 antok vi et avtagende behov, noe som illustrer en effekt av økende N-leveranse fra jordas organiske materiale (mineralisering) i samme intervall. Vår antagelse om at det ble gjødslet samme mengde totalt ved presisjonsgjødsling som ved ensartet gjødning er et konservativt utgangspunkt. I en spørreundersøkelse i Sverige (Söderström et al. 2004) svarte 16 av 18 at gjødselforbruket enten var det samme eller mindre ved presisjonsgjødsling, mens de resterende to rapporterte økt forbruk.

Vi laget også et tilsvarende scenario for bygg (Tabell 5).

Tabell 5. Et scenario for bygg der arealet består av ti like store klasser inndelt etter stedsspesifikt N-behov. Om våren (ved såing) ble det gjødslet 8 kg N/daa, fordelt likt over hele arealet. De resterende 4 kg N/daa ble gjødslet senere i sesongen, der delgjødslingsmengden enten ble fordelt ensartet (E) eller stedsspesifikt i form av presisjonsgjødsling (P). Alle verdier er uttrykt som kg N/daa

Klasse	Vårgjødsling	Delgjødsling		Sum tildelt		For mye	For lite
		E	P	E	P	E	E
1	8	4	1,0	12,0	9,0	3,0	0,0
2	8	4	1,5	12,0	9,5	2,5	0,0
3	8	4	5,0	12,0	13,0	0,0	-1,0
4	8	4	4,9	12,0	12,9	0,0	-0,9
5	8	4	4,8	12,0	12,8	0,0	-0,8
6	8	4	4,7	12,0	12,7	0,0	-0,7
7	8	4	4,6	12,0	12,6	0,0	-0,6
8	8	4	4,5	12,0	12,5	0,0	-0,5
9	8	4	4,4	12,0	12,4	0,0	-0,4
10	8	4	4,3	12,0	12,3	0,0	-0,3
Middel	8	4	4,0	12,0	12,0	0,5	-0,5

Effekten av presisjongjødsling i scenariene over (Tabell 4 og 5) viste at det ble gjødslet for mye i to av klassene og for lite i de øvrige klassene ved ensartet gjødsling. For mye gjødsling innebærer en stor risiko for at det overflødig nitrogenet tapes til miljøet, både i form av nitratavrenning/utvasking og som lystgasstap. I det langvarige dyrkingssystemforsøket på Apelsvoll fant Korsæth og Eltun (2000) at ca. 50 % av en økning i N-overskuddet (fra 1 til 2 kg N/daa) gikk tapt i form av N-utvasking for bruk med produksjon av korn og poteter. Vi har derfor antatt at 50 % av det som ble gjødslet for mye i vårt scenario har gått tapt via vannvegene i form av nitrat (NO₃-N).

IPCC (2007) antar at 1 % av hver kilo N som gjødsles går tapt i form av lystgass (N₂O-N). I IPCC-metodikken tas det ikke hensyn til om gjødsla tilpasses behovet eller ei. Dette blir svært grovkornet, siden N som ikke utnyttes av planten nødvendigvis har et vesentlig større tapspotensial enn N som tas opp. Siden vi her ser på forskjellen mellom ensartet fordeling av gjødsla og presisjongjødsling, og samme mengde N er brukt i begge tilfeller, har vi ikke beregnet lystgassutslippene totalt. Vi har i stedet regnet på forskjellene, og lagt til grunn at 1 % av hver kilo N som ble gjødslet for mye ved ensartet gjødsling har gått tapt som N₂O-N.

Det er ikke likegyldig hvor på skiftet det gjødsles for mye. Ser vi på utslippsberegningene relatert til pH, er det klart at et N-overskudd bidrar til vesentlig større lystgasstap i områder med lav pH enn med høy pH. Det blir for vidløftig å lage et scenario der både pH og behov for N-gjødsel varierer. Det er riktignok en sammenheng mellom pH og avling, men det er mange andre faktorer som også påvirker avlingsdannelsen og dermed gjødselbehovet, slik som for eksempel jordas stedsspesifikke mineraliseringsgrad. Dyrkingspraksis som innebærer både en utjevning av pH (presisjonskalking) og mindre N-overskudd (presisjongjødsling) har dermed en ekstra effekt som kommer i tillegg til effektene hver for seg. Denne kombinasjonseffekten er naturligvis helt avhengig av en rekke forutsetninger (ikke minst den romlige fordelingen av kalk- og N-behov) og dermed vanskelig å bestemme. For at en likevel synliggjør gevinsten av at en unngår en mulig interaksjon mellom variasjon i pH og samtidig variasjon i N-utnytting, har vi valgt å sette den til 10 % av den direkte besparelsen knyttet til at en unngår overgjødsling. Dette forutsetter altså at en i scenarioet med ensartet gjødsling ikke presisjonskalket.

I Tabell 5 gikk det fram at det ble gjødslet for lite i mange av klassene ved ensartet tildeling av gjødsla. Det har naturligvis en effekt på kornavlingen. I en undersøkelse som omfattet 122 feltforsøk i perioden 1999-2001 rapporterte Hydro Agri (2002) en avlingsøkning på i gjennomsnitt 2,4 % ved bruk av N-sensor (sitert av Söderström et al. 2004). Andre europeiske studier har riktignok funnet mindre eller ingen avlingseffekt av presisjongjødsling (Berntsen et al. 2006; Jørgensen and Jørgensen 2007; Maifield and Trengrove 2009). I en brukerundersøkelse blant 170 svenske brukere av N-sensoren, rapporterte 12 % av de spurte en gjennomsnittlig avlingsøkning på 0-2 %, 21 % rapporterte en økning på 2-4 %, 19 % mente økningen var på 4-6 %, 5 % anslo økningen til 6-8 % mens 43 % ikke visste hvilken avlingseffekt metoden hadde hatt (K. Nissen pers. med.). Alle de refererte studiene som omhandler avlingseffekt av presisjongjødsling har fokusert på hvete (vår- og høsthvete), mens det foreligger lite informasjon om avlingseffekten på bygg.

Delgjødsling til bygg skjer normalt på et litt tidlig utviklingsstadium enn vårhvete (siden bygg tar opp relativt mer N tidligere), og vi antar derfor at gevinsten her er noe mindre, siden det er mer utfordrende å bestemme riktig N-behov når veksten er mindre utviklet (mindre biomasse), og stedsspesifikke effekter (slik som N-mineralisering) fortsatt kan overskygges av vårgjødslinga (som ble fordelt likt). På bakgrunn av dette har vi anslått at avlingsgevinsten ved presisjongjødsling til hhv. vårhvete og bygg var 2,4 og 2 %. Denne effekten har vi godskrevet scenariet med presisjongjødsling i form av den samlede mengden CO₂e forbundet med produksjon av tilsvarende mengde korn, slik beregnet for både bygg og vårhvete i Korsæth et al. (2014).

Presisjongjødsling er også rapportert å ha en utjevneffekt på kornbestanden. Feiffer et al. (2007) rapporterte f.eks. at presisjongjødsling med N-sensor bidro til jevnere plantetetthet bestandshøyde. De fant dessuten at den utjevneffekten bidro til at treskeprosessen hadde en effektivitetsøkning

som i gjennomsnitt var på 15 %, uttrykt som mindre tidsforbruk per hektar (større kjørehastighet). Mengden spillkorn ble registrert i undersøkelsen beskrevet av Feiffer et al. (2007), for å kontrollere at den økte kjørehastigheten ikke ga mer spillkorn enn i alternativet med ensartet gjødsling – noe den ikke gjorde. Vi har antatt samme tidsmessige effektivitetsøkning i vårt scenario (15 %).

Samme gevinst gjelder ikke fullt ut for dieselforbruket, siden en her altså har kjørt raskere. Det aller største energisluket ved tresking er imidlertid forbundet med driften av treskerverket, og ikke til framdriften. Vi har derfor antatt at 15 % raskere kjøring (mer areal per time) kun har økt timeforbruket av diesel med 3 %, slik at nettogevinsten av jevnere kornbestand ble antatt å være 12 % mindre dieselforbruk per arealenhet.

2.3.2.4 Presisjonssprøyting mot ugras

Vi forutsatte at presisjonsugrasssprøyting ble gjennomført som en innleid tjeneste, der leiekjører sto for komplett utstyr (traktor og åkersprøyte med VRA-teknologi basert på høyoppløselige kamera montert på sprøytebommen og fortløpende bildeanalyse). Det finnes bare én potensiell tilnærming (nå markedsklar i Norge) som kan skille mellom ugras og kornplanter i dag. Dette er et system med mulighet for automatisk, seksjonsvis stengning og åpning av dysene, der reguleringen av om det sprøytes (åpne dyser) eller ikke bestemmes av ugrasmengden (og til en viss grad ugrasartene). Her ligger en økonomisk terskel til grunn, der den økonomisk skade en gitt ugrasmengde potensielt medfører i form av avlingsreduksjon, settes opp mot kostnaden forbundet med å sprøyte ugraset vekk (styrt av prisen på plantevernmiddelet). Det sprøytes kun når den potensielle økonomiske skaden overstiger sprøytekostnaden.

Effekten av presisjonssprøyting versus ikke-differensiert dosering av ugrasmidler (herbicer) er avhengig av den romlige fordelingen av ugraspresset. Hvis ugraspresset er jevnt fordelt, gir presisjonssprøyting ingen mening – da vil man sprøyte samme dose og ugrasmiddel på hele arealet. Andel av arealet med ugraspres som krever tiltak, har vist seg å variere en god del mellom år, skifte, tidligere tiltak mot ugras, og mange andre faktorer. Vi har derfor valgt å se på effekter for ulike andeler med ugraspres som krever tiltak, i stedet for å definere en gitt fordeling på vårt eksempelbruk, slik vi har gjort for pH og gjødslingsbehov.

Siden effekten av stedsspesifikk ugrasssprøyting har blitt studert på skifter med slik grad av romlig variasjon i ugraspopulasjonen, er det store sprik i litteraturen med hensyn til registrert besparelsen av herbicer. I en undersøkelse gjennomført i Norge, ga sensorbasert, stedsspesifikk glyfosatsprøyting en reduksjon i forbruket av glyfosat på 42-76 % i modent bygg, 84-86 % i stubb etter bygg, og 75-78 % i stubb etter høsthvete (Tørresen et al. 2018). Utredningen til Tørresen et al. (2018) viste at dette er i tråd med resultater funnet også i andre land. Kömives (2016) rapporterte 60 % glyfosat-reduksjon ved stedsspesifikk kontroll av det ettårige tofrøblada ugraset beskambrosia i stubb etter høsthvete i Canada. Besparelsen i forbruk av selektive ugrasmidler ser ut til være innenfor et tilsvarende bredt spenn som for glyfosat. Gerhards og Oebel (2006) testet stedsspesifikk ugrasssprøyting i Tyskland, og fant at herbicid-bruken i høstkorn (bygg og hvete) mot tofrøbladet ugras og grasugras ble redusert med hhv. 6-81 og 20-79 %. Tester med presisjonssprøyting med selektive frøugrasmidler i fem forsøk i Norge, viste en reduksjon i forbruk av middel på 18 og 27 % i høsthvete, 85 % i hvete og 22-97 % i bygg (Berge et al. 2012).

Det er hevdet at kjemiske ugrasmidler har en avlingsreducerende effekt, og i så fall ville en reduksjon i arealet som faktisk sprøytes i presisjons-scenariet også ha en avlingsgevinst som må tas inn i beregningene. Bilalis et al. (2001) fant at tre herbicer (diclofop-metyl, imazamethabenz-metyl og fenoksaprop-etyl) hadde signifikant avlingsreducerende effekt på durum-hvete. Mange ugrasmidler viser seg imidlertid å bare ha en forbigående effekt, slik Singh og Punia (2007) fant for bygg i India. To typiske virksomme stoff brukt i ugrasmidler til korn i Norge er fluroksypyr og florasulam, og disse er forutsatt benyttet på vårt eksempelbruk (Henriksen og Korsæth, 2013). Knezevic et al. (2010) undersøkte fluroksypyr (sammen med fire andre stoff, alle enkeltvis) på høsthvete i Nebraska, og fant

ingen negativ avlingseffekt. Raatz et al. (2011) gjorde forsøk med rughvete for å finne eventuelle negative effekter av en rekke ugrasmidler (florasulam + MCPA ester, clodinafop-propargyl, tifensulfuron-metyl/tribenuron-metyl, og sulfosulfuron-metyl + 2,4-D ester). Med unntak av preparatet med 2,4-D, var det ingen signifikant avlingsreduksjon, selv med dobling av anbefalt dose. Med bakgrunn i disse vitenskapelige studiene har vi valgt å ikke legge inn noen reduksjoner i kornavling der ugrasmidler er benyttet.

De miljømessige effektene av presisjonssprøyting av ugras avgrenser seg dermed til de direkte effektene av sparte mengder ugrasmidler. I denne utredningen har vi undersøkt effektene av stedsspesifikk ugrassprøyting versus ordinær breisprøyting med glyfosat og to andre vanlige selektive ugrasmidler, fluroksypyr og florasulam, med ulike doser når arealet som ikke trenger behandling (pga. lite ugrasspress) er satt til enten 10, 25, 50, 75 eller 90 % av det totale kornarealet. Videre har vi beregnet miljøeffekten i form av reduserte utslipp av forbindelser med potensiell, terrestrisk økotoksisitet uttrykt som mengden 1,4 diklorbenzen (1,4 DB-ekvivalenter), som er i tråd med det som er vanlig ved LCA-analyser (Roer et al. 2012). På samme måte som at bruk av CO₂-ekvivalenter er en måte å slå sammen og veie effekten av ulike klimagasser som har forskjellig klimaeffekt, kan 1,4 DB-ekvivalenter benyttes når en skal beskrive en samlet effekt av flere stoff med ulik grad av giftighet. I LCA-sammenheng beregnes gjerne både terrestrisk-, ferskvanns- og saltvanns-økotoksisitet. Vi har her bare beregnet terrestrisk økotoksisitet. Effekter på ferskvann vil bl.a. påvirkes av erosjonsrisiko, nedbørsforhold med mer, mens effekter på saltvann bl.a. vil være avhengig av transportdistansen fra utslippssted og til fjorden som til slutt blir mottaker. Dette er forhold som vi ikke har hatt kapasitet til å gå inn på i denne undersøkelsen.

Utslipp av klimagasser forbundet med produksjon og transport av plantevernmidler er hentet fra Korsæth et al. (2014), og reduksjonen av disse utslippene er direkte proporsjonal med reduksjonen i sprøytet areal (og dermed mengden plantevernmidler tilført).

2.3.3 Potet

2.3.3.1 Traktor med styreassistanse

Det eksisterer i hovedsak to metoder for å etablere en ferdig potetåker i Norge, avhengig av jordart. På steinrik jord, som f.eks. morenejord, er det i dag vanlig å gjennomføre strenglegging før setting. Dette innebærer at en ikke benytter tradisjonell jordarbeiding, men at en i stedet kjører med en hyppeplog direkte i stubben (hvis korn var forgrødet), slik at en aler opp ei stor får som etter hvert vil utgjøre to potetrader. Denne fåra blir så strenglagt, som betyr at jorda filtreres slik at jordklumper og stein plasseres til side for den ferdig filtrerte «jordsenga». Ved setting blir så hver seng alet opp til to potetrader. Om lag 30-40 % av potetarealet strenglegges i dag. Der det ikke strenglegges, gjøres tradisjonell jordarbeiding (pløying, slådding, harving) før setting. Vi har regnet på begge disse metodene.

Ved strenglegging vil kjøring av hyppeplogen i stor grad legge føringen for hvordan det kjøres i alle de etterfølgende operasjonene (strenglegging, setting, gjødsling, sprøyting og potetopptaking). I scenariet uten strenglegging vil kjøring av potetsetteren legge tilsvarende føring. Uten noen form for styreassistanse vil det normalt være en tendens til at en kjører med litt større avstand enn nødvendig til foregåedene «drag», altså det motsatte av overlapp. Vi har anslått denne avstanden til å være i gjennomsnitt 10 cm (Per Møllerhagen, pers. med.). Ved bruk av styreassistanse kan denne avstanden reduseres, der reduksjonen avhenger av styresystemets nøyaktighet. Vi har tatt som utgangspunkt at bonden har avsatt et visst areal til potet (her: 200 daa), og at arealet fylles. Dette betyr at økt presisjon i kjøringen gir flere løpemeter med ferdig potetrad på det samme arealet. Vi har antatt at en slik økt fortetning ikke har påvirket avlingene per løpemeter potetrad, slik at det dermed blir en avlingsøkning per arealenhet som er direkte proporsjonal til fortetningsgraden (økt antall løpemeter potetrad per dekar). Tilsvarende proporsjonale økning blir det også for mengden settepoteter og for

dieselforbruket. Dieselforbruket er beregnet med basis i samme metodikk som for eng og korn, men her har vi gjort egne vurderinger av de enkelte arbeidsoperasjonenes art (lett, medium eller tungt, som korresponderer med hhv. 0,12, 0,19 og 0,25 liter diesel per kW motoreffekt), samt av antatt timeforbruk per daa (Tabell 6).

Tabell 6. Forutsetninger for beregning av dieselforbruk ved manuelle styring (M) eller ved bruk av visuell sporfølger (V), automatisk rattstyring (R) eller autostyring (A)

Prosess	Frekvens /sesong	Traktor kW	Diesel l/t/kw	Arbeidstid t/daa	Diesel l/daa	Arbeids- bredde m	Ekstra avstand ¹			
							M cm	V cm	R cm	A cm
Opphypping	1	120	0,19	0,039	0,42	1,6	10	10	5	2
Strenglegging	1	90	0,19	0,208	3,56	1,6	10	10	5	2
Setting	1	90	0,12	0,089	0,96	1,6	10	10	5	2
Gjødsling	1	60	0,12	0,015	0,11	15	10	10	5	2
Ugras-sprøyting	1	60	0,12	0,039	0,28	15	10	10	5	2
Soppsprøyting	4	60	0,12	0,039	0,28	15	10	10	5	2
Sprøyting for risnedsviing	1	60	0,12	0,039	0,28	15	10	10	5	2
Potet-opptaking	1	90	0,12	0,533	5,76	0,8	10	10	5	2

¹ Unødvendig ekstraavstand til forrige drag; altså det motsatte av overlapp. Opphypping (ved strenglegging) eller setting (uten strenglegging) legger føring for all etterfølgende kjøring.

Ved sprøyting kjøres det i praksis med en viss overlapp, siden sprøyteglipper kan gi alvorlige negative konsekvenser, spesielt ved sprøyting mot tørråte. Ved at det blir tettere mellom færene (ved mer presis kjøring), vil denne overlappen øke, om det ikke gjøres justerende tiltak i form av avblending av dyser etc. Vi har her antatt at samme sprøyta som for korn benyttes, altså med en bombredde på 15 m. Ved en tilsiktet radbredde på 0,8 m, vil reell radbredde være 0,85 m ved manuell kjøring (under antagelse om 10 cm avvik for hver to rader, jfr. Tabell 6). Ved sprøyting av f.eks. 18 rader, burde bombredde vært 15,3 m (18 x 0,85 m) for å dekke hele bredden fullstendig. De manglende 30 cm vil imidlertid kunne dekkes ved å bruke endedysere med asymmetrisk spredebilde (kan spre vesentlig bredere enn normale dysere) på hver side av bommen. Til sammenligning ville en med autostyring kunne oppnå en reell radbredde på 0,81 m, slik at 18 rader ville kreve en bombredde på 14,6 m (18 x 0,81 m). Også her ville det være mulig å finne dysejusteringer som tilpasser faktisk spredebredde til behovet. Som en konsekvens av dette har vi ikke lagt til grunn noen endring i sprøytmengde per løpemeter potetrad, men forutsatt at økt styrenøyaktighet har medført en økning i sprøytmiddelbruken som er proporsjonal med fortetningsgraden, på linje med settepoteter og diesel.

Ved gjødsling til potet er det vanlig at en del breigjødsles med sentrifugalspreder enten før eller etter setting, mens resten innarbeides i potetraden ved setting. I praksis er denne fordelingen anslagsvis 30 % som breigjødsling og 70 % som radgjødsling (P. Møllerhagen, pers. med.), slik at merforbruket av gjødsel ved økt fortetning vil bli 70 % av forteningsgraden (ved bruk av autostyring utgjør dette 3,5 % i stedet for 5 % ved full proporsjonalitet).

Alt i alt betyr dette at i vårt scenario vil økt fortetning på grunn av nøyaktigere styring gi samme prosentvise økning i både avlinger og innsatsfaktorer (med unntak av det relativt lille avviket for gjødsel). Det betyr at utslipp av klimagasser og andre miljøeffekter øker når de beregnes per arealenhet. Hvis en imidlertid beregner utslippene per produsert enhet, blir miljøeffektene uforandret. Vi har derfor valgt å utelate en detaljert beregning av miljøeffektene av disse utslippene.

2.3.3.2 Presisjonskalking

Potetavlingen påvirkes i svært liten grad av jordas pH (Maier et al. 1997). Med bakgrunn i scenariet som er beskrevet for korn med hensyn til pH (som også gjelder potetarealeet, siden dette er den samme gården med både korn og potet i vekstskiftet), har vi derfor antatt at potetavlingene ikke har blitt påvirket av om kalken har blitt tilført ensartet eller stedsspesifikt (presisjonskalking). Følgelig har det ikke vært noen avlingsrelaterede miljøeffekter av presisjonskalking å regne på for potet.

Som beskrevet for korn og eng, vil det være områder som har fått for mye N, og et N-overskudd bidrar til vesentlig større lystgasstap i områder med lav pH enn med høy pH. Det vil imidlertid bli for vidløftig å lage et scenario der både pH og behov for N-gjødsel varierer (uavhengig av hverandre).

2.3.3.3 Presisjongjødsling

Som for korn, forutsatte vi at stedsspesifikk delgjødsling ble gjennomført som en innleid tjeneste. Vi antok at leiekjører brukte en passiv N-sensor. Metoden er brukt i liten grad i praksis, og helt minimalt i Norge.

For høy N-gjødsling til potet gir unødvendig stor produksjon av bladmasse som til dels skjer på bekostning av knollutviklingen, det reduserer knollkvaliteten (bl.a. i form av for store knoller, lavt tørrstoffinnhold og forsinket modning), og det gir en lav N-utnyttingsgrad, med økt risiko for tap av N til miljøet (Goffart et al. 2008). Riktig gjødsling til potet kan imidlertid være mer utfordrende enn til f.eks. korn, på grunn av grunnere og dårligere utviklet rotsystem. Det finnes mange ulike tilnærminger til å estimere N-status i potet (van Evert et al. 2010; Goffart et al. 2008), men det er utfordrende å finne modeller som kan brukes til å beregne optimalt, stedsspesifikt N-behov (se f.eks. Parent et al. 2017).

Siden det er relativt begrenset med publiserte erfaringer med bruk av presisjongjødsling til potet, spesielt i Norden, er det vanskelig å gjøre detaljerte beregninger for miljøeffekter av presisjongjødsling til potet. Vi kan imidlertid ta utgangspunkt i beregningene for korn, som er gjort for den samme gården innenfor samme vekstskifte. Potet har et vesentlig større potensial for å tape N til omgivelsene. Dette skyldes bl.a. et mindre omfattende rotsystem (se over), normalt lavere utnyttingsgrad av tilført N og ikke minst at vanning er standard, slik at risikoen for utvasking/nedvasking av N øker. Vi har derfor tatt utgangspunkt i utslippene for bygg, som ligger nærmest i mengde N-gjødsel tildelt, og lagt til 20 %. Da har vi ikke inkludert noen effekt av økt avling eller mer effektiv innhøsting.

2.4 Beregning av potensiell økonomisk nytteverdi

Da PA-teknologien er relativt ny i Norge, har man ikke noe datamateriale med økonomisk resultat for brukere som har benytta PA i en årrekke og som kan jamføres med tilsvarende resultat for brukere uten PA i samme periode, slik dette ble gjort av Schimmelpfennig (2016). Lønnsomheten er derfor vurdert ved å sette opp kalkyler med investeringer og antatt årlig gevinst og levetid for ulike teknologier benytta i ulike vekster. Investering i teknologi for PA er ikke forskjellig fra andre maskininvesteringer i landbruket, og økonomisk nytteverdi av PA er derfor vurdert etter tradisjonelle metoder for investeringsanalyse.

Det er benytta to alternativ for priser, henholdsvis minimumspriser og gjennomsnitt. Levetida er satt lik levetida for traktorer og maskiner i landbruket, typisk til 10 år, selv om ømfintlig datateknologi og sterk teknologiutvikling kunne tilsi kortere økonomisk levetid. Utstyret er ikke gitt noen sluttverdi i kalkylene. Noen PA-tjenester leies inn fra maskinfirma fordi teknologien kan benyttes for langt større areal enn det mange norske brukere driver. For PA-tjenester som leies inn årlig, er det beregnet gevinst per dekar. Dette gjelder for bruk av VRA-gjødselspreder med aktiv eller passiv N-sensor for korn og poteter. Kalking utføres med lengre tids mellomrom, gjerne 5 år og i forbindelse med gjenlegg

ved engdyrking og noe sjeldnere (6 år) ved korn og potetdyrking. Kostnadene med presisjonskalking, selv om det er en innleid tjeneste, er derfor forutsatt avskrevet over det aktuelle kalkingsintervallet fram til neste gang tjenesten leies inn.

En vanlig metode for å estimere lønnsomhet over flere år er å beregne den akkumulerte netto nåverdi av investeringen over levetida. Til slike beregninger må man bestemme en rentefot for å diskontere investeringen. Alle framtidige inntekter og kostnader over levetida diskonteres til nåverdi. Generelt kan den diskonterte verdien (nåverdien) av et beløp x om n år skrives som $x/(1+r)^n$, der r er diskonteringsrenten. Inntekter langt fram i tid får lavere nåverdi enn tilsvarende inntekter i nær framtid. Dersom renta er lav, er framtidige inntekter viktigere enn når renta er høy. I beregningene i denne utredningen er renta satt til 2,5 %.

Vi anser at akkumulert netto nåverdi per dekar som et hensiktsmessig grunnlag for beslutning og har beregna denne verdien for investeringer i ulike teknologier. Investeringen er lønnsom dersom den akkumulerte netto nåverdi over avskrivningstiden er positiv. Eventuelle tilskudd er ikke hensyntatt. Antall år det tar før den er positiv er et viktig mål for lønnsomheten.

Vi har beregnet akkumulert netto nåverdi over levetida som er 10 år for investeringer og 5 eller 6 år for presisjonskalking, og sluttverdiene er dividert med levetida for å finne gjennomsnittlig årlig verdi. For tjenester som leies inn hvert år, er årlig gevinst beregnet direkte. Beregningene er utførte for enheter med henholdsvis 400 daa engareal og 1000 daa med korn og poteter. På den siste er arealet fordelt med 400 daa hvete og bygg og 200 daa poteter.

For å beregne totale effekter for jordbruket, har vi tatt utgangspunkt i hvor stor del av totalarealet til eng, korn og poteter som er aktuelt for PA-teknologiene. Det er ansett at teknologien er aktuell for det meste av korn og potetarealet. Kornarealene er lokalisert til flatbygdene på Østlandet og i Trøndelag med forholdsvis kort avstand mellom bruksenheter der det med maskinleie vil være mulig å nå arealstørrelser som forsvare investeringen. Potetproduksjonen er noe mer geografisk spredt enn kornproduksjonen, og det er en del mindre arealenheter med poteter. For eng har vi vurdert at det er aktuelt med PA-teknologi i alle grovfôrområdene.

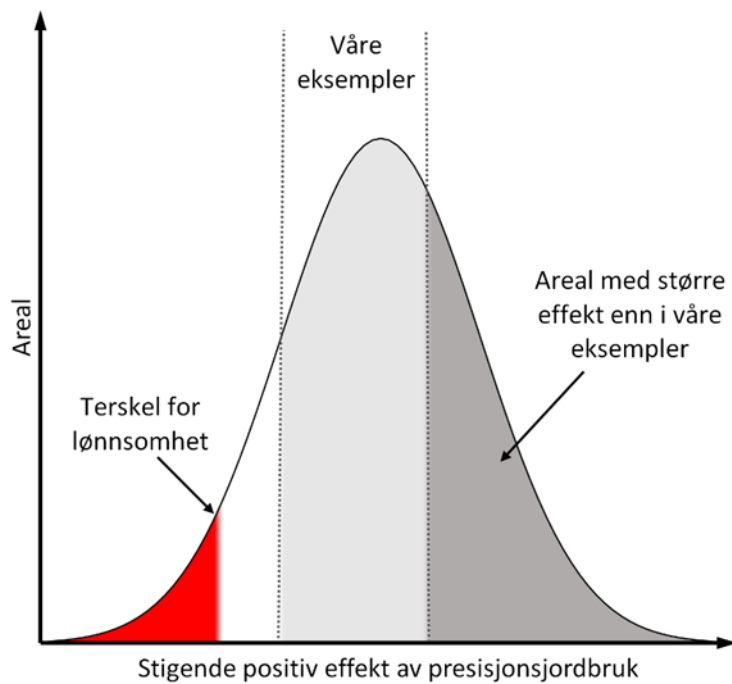
De fleste parameterne som er nødvendig for å gjøre de økonomiske beregningene for hver vekst og teknikk er spesifisert i kap. 2.3. Resten er spesifisert sammen med resultatene, uten en tilsvarende underinndeling av dette kapitlet som i kap. 2.3.

2.5 Beregning av samlet potensiell miljømessig og økonomisk nytteverdi

En vurdering av den samlede, potensielle nytteverdien presisjonsjordbruk har for norsk jordbruk ble gjort for både miljø og økonomi. Vi har ikke gjort noen økonomisk verdsetting av miljøgevinst.

Når resultatene fra våre eksempelbruk skal oppskaleres, kreves det en del vurderinger av deres representativitet. Brukene våre har naturligvis begrenset gyldighet for hele det norske jordbruket. En del jordstykker vil være for små eller ha en topografi og/eller arrondering som gjør at teknologien ikke kan benyttes effektivt, andre vil ha en jordvariasjon som er for liten til at en vil kunne dra nytte av variabel tildeling av innsatsfaktorene.

Selv om deler av arealet dermed faller utenfor gyldighetsområdet for våre beregninger, kan vi ikke utelukke at det ville vært positive effekter av presisjonsjordbruk også der. Disse effektene kan være både større og mindre enn resultatene viser for våre eksempelbruk (Fig. 1).



Figur 1. En illustrasjon av hvordan effekten av presisjonsjordbruk kan være fordelt arealmessig i Norge, der noe areal ikke har noen effekt, noe har effekt, men den er ikke høy nok til å gi lønnsomhet (rødt område), en del areal har god effekt, og noe areal har svært positiv effekt. Areal må her ses som et samlebegrep for jord, produksjon og management, der vi har antydning et mulig gyldighetsområde for våre eksempelbruk (lysegrått område)

Det må understrekes at figuren bare er en visualisering av hvordan situasjonen kan være, og at det er sannsynlig at presisjonsjordbruk har positive effekter godt ut over det vi har regnet på. Vi har derfor valgt å antydning et mulig spenn av samlede effekter, i tillegg til det vi får når vi multipliserer tallene fra våre eksempelbruk med arealet for antatt gyldighetsområde.

De ulike presisjonsteknikkene som er analysert har i utgangspunktet ikke samme grad av representativitet. I de følgende underkapitlene (kap. 2.5.1, 2.5.2 og 2.5.3) har vi gjort en vekstspesifikk vurdering av gyldigheten av våre beregninger for hver enkelt teknikk inkludert. En oppsummering av dette er vist i Tabell 7.

Tabell 7. Anslag over gyldighetsområdet for våre estimat

Presisjonsteknikk	% ¹	Hele populasjonen (Hp)	Hp, 1000 daa ²	Utvalg, 1000 daa ³
<i>Eng</i>				
Styreassistanse	40	totalt fulldyrka engareal	4 728	1 890
Presisjonskalking	30		4 728	1 420
<i>Bygg</i>				
Styreassistanse	40	totalt byggareal	1 349	540
Presisjonskalking	30		1 349	400
Presisjongjødsling	30		1 349	400
Presisjonsprøyting	70		1 349	940
<i>Vårhvete</i>				
Styreassistanse	40	totalt vårhveteareal	455	180
Presisjonskalking	30		455	140
Presisjongjødsling	30		455	140
Presisjonsprøyting	70		455	320
<i>Korn (alle arter)</i>				
Styreassistanse	40	totalt kornareal	2 778	1110
Presisjonskalking	30		2 778	830
Presisjongjødsling	30		2 778	830
Presisjonsprøyting	70		2 778	1 950
<i>Potet</i>				
Styreassistanse	80	totalt potetareal	120	100
Presisjongjødsling	80		120	100

¹ Arealandel som antas å være innenfor gyldighetsområdet for beregningene.

² 2017-tall, SSB.

³ Avrundet til nærmeste titusen.

2.5.1 Fulldyrka eng

Arealvalget på 400 daa medfører at dagens fulldyrka engareal på ca. 4,7 millioner daa i teorien kunne bestått av nærmere 12 000 enheter. I noen områder er det mulig med større enheter enn 400 daa, men det er tvilsomt om alt engarealet er egna for å drives i så store enheter. Det skyldes en kombinasjon av antall og størrelse på teiger, uhensiktsmessig arrondering, bratt areal som krever spesiell kjøring, bygningsruiner, steingjerder og steinrøyser, bekker og grøfter, åkerholmer, dammer, stier med videre som vanskeliggjør PA. Dette gjelder spesielt på Vestlandet og i områdene utenom flatbygdene og Jæren dvs. Andre bygder på Østlandet, Agder og Rogaland og i Trøndelag. I disse regionene er mellom 10 og 19 % av eng- og beitearealet på enheter som er større enn 400 daa. I de andre regioner er mellom 29 og 34 % på så store enheter. Maskinleie og entreprenørdrift gir også muligheter for overgang til presisjonsjordbruk. Innenfor en driftsenhet vil ikke lang kjørevstand mellom jordstykker ha noe å si for økonomien med PA. Traktorer og maskiner kan i noen grad være desentraliserte, og man kan kjøre bil mellom flere bruk.

Styreassistanse vil i praksis dermed kunne benyttes på nesten alt jordbruksareal. Siden vi har knyttet gevinstene (både miljømessige og økonomiske) av styreassistanse direkte opp mot innsparte innsatsfaktorer knyttet til ett definert dyrkingsregime og avlingsnivå, begrenser dette imidlertid gyldigheten for våre beregninger en del. Selv for bruk med samme produksjon, ville en annen jordart, topografi, og/eller maskin- og redskapsutrustning gitt et annet dieselforbruk, mens et annet avlings- og gjødslingsnivå ville påvirket effektene av innsparte innsatsfaktorer. Selv om brorparten av arealet med fulldyrka eng brukes til å produsere fôr til produksjon av melk, blir anslagsvis 40% av arealet brukt til å produsere fôr til sau og okser/kjøttfé.

På denne bakgrunn har vi lagt til grunn at beregningene relatert til styreassistanse kan brukes på 40 % av arealet med fulldyrka eng.

Når det gjelder presisjonskalking, har vi redusert engarealet som vi mener våre resultater er noenlunde representative for, ytterligere. Dette skyldes først og fremst at det ligger en forutsetning inne i våre kalkyler om at jorda må ha et relativt stort spenn i pH. Vi vet at norsk jordbruksjord normalt sett har en god del innomfeltsvariasjon – også i pH, men vi antar at det er en del jord som er såpass homogen at presisjonskalking ikke har noen gevinst eller i hvert fall mindre gevinst enn for vårt eksempelbruk. Dette blir i stor grad rene antagelser, siden vi mangler jorddata med en så høy oppløsning at vi kan kvantifisere arealandelen som har tilstrekkelig variasjon til at teknologien lønner seg (økonomisk og/eller miljømessig). Ut fra en skjønnsmessig vurdering antar vi at våre beregninger for presisjonskalking kan være gyldig for ca. 30 % av det totale, fulldyrka engarealet.

2.5.2 Korn

For styreassistanse i korn gjelder i hovedsak de samme vurderingene som for eng, der vi altså ekskluderer areal med ugunstig arrondering og topografi, og arealer som er drevet med dyrkingspraksis som avviker vesentlig fra praksis på vårt eksempelbruk. Ut fra dette antar vi at våre resultater for bruk av styreassistanse primært har gyldighet for om lag 40 % av bygg- og vårhvetearealet, men vi har tillatt oss å strekke dette til å gjelde hele kornarealet. Høstkornarealene vil riktignok normalt drives med noe høyere nivå av innsatsfaktorer (og høyere avlinger) enn vårkornarealene. Samtidig vil det være en del av havrearealet som her inkluderes som drives mindre intensivt, slik at vi i sum nok ikke gjør en veldig grov feil med dette anslaget.

Også antagelsene for presisjonskalking til korn blir de samme som for eng, der vi med utgangspunkt i tilsvarende vurderinger som for styreassistanse antar at resultatene er noenlunde representativ for 30 % av kornarealet.

I en utredning om klimatiltak for reduserte lystgassutslipp fra jordbruket (Øygarden et al. 2009) anslo vi at 20 % av det totale kornarealet hadde så stor variasjon at presisjonsgjødsling var interessant. Vi har ikke noe mer håndfast begrunnelse for vurderingen nå enn i 2009, men vil likevel øke anslaget noe, siden teknologien har blitt en del forbedret i løpet av det siste 10-året. Økt nøyaktighet i målinger, raskere og bedre prosessering av data, samt forbedrede agronomiske modeller gjør at en i større grad enn før kan fange opp og tilpasse innsatsmidlene til variasjonen. Som for presisjonskalking antar vi at våre tall er representative for 30 % av kornarealet.

Estimatene for presisjonssprøyting er i utgangspunktet gyldig for et større areal enn det vi antok for de andre presisjonsmetodene brukt til korn. Så lenge arealet kan sprøytes med ei normal åkersprøyte, vil metoden i prinsippet kunne benyttes, selv om de minste skiftene likevel vil være lite aktuelle. Hvis vi antar at 90 % av kornarealet er egnet rent fysisk, så er neste kriterium at utbredelsen av ugraset må være såpass ujevn at det er mulig å droppe sprøyting på deler av arealet. Videre har vi en del kornareal (et grovt anslag her er 20 %) som har et så stort lager med ugrasfrø at det ikke vil være aktuelt å droppe å sprøyte deler av arealet. Videre er noen ugrasarter, eksempelvis klengemaure, så problematiske at de bør bekjempes uansett mengde. Videre har vi i enkelte år en god del rotugras som er nokså jevnt fordelt utover det hele. Vi har derfor antatt at våre tall for presisjonssprøyting av ugras er gyldig for om lag 70 % av det totale kornarealet. Vi inkluderer her altså havre, høsthvete og rug/rughvete også, siden metoden kan benyttes hos alle kornartene.

En gjennomgang av en rekke forsøk i vårkorn gjennomført i Norge og i Tyskland viste at det i gjennomsnitt var mulig å redusere sprøytet areal med 60 % (T. With Berge, pers. med.). I våre oppskalerte anslag har vi lagt til grunn at en i gjennomsnitt kunne halvere bruken av ugrasmidler ved bruk av presisjonssprøyting.

2.5.3 Potet

Siden vi mangler mye av grunnlagsdata i våre beregninger for potet, har vi valgt å ikke oppskalere disse tallene for beregningene av miljøeffekter. Vi har imidlertid tatt med de økonomiske gevinstene av styreassistanse siden grunnlagsdata her er bedre. Anslagsvis kan disse beregningene være noenlunde representativ for 80 % av potetarealet. Da har vi utelatt produsenter med vesentlig mindre areal.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Utbredelse av PA i Norge

Siden 2013 har det blitt solgt nærmere 3000 enheter for styreassistanse her til lands (Tabell 8). Litt over halvparten av dette var utstyr for visuell sporfølging, mens den dyreste og mest nøyaktige typen (autostyring med direkte justering av styrehydraulikken) var en god nummer to med over 1000 solgte enheter. Bare 12 % av de solgte enhetene for styreassistanse var av typen med automatisk sporfølger (automatisk rattstyring).

Tabell 8. Antall og prisintervall på enheter for styreassistanse solgt i perioden 2014-2018, oppsummert med basis i svarene vi mottok fra de sju leverandørene

Type	Antall solgte	Andel %	Prisintervall ¹	Gjennomsnittspris	Kommentar
Visuell sporfølging	1416 ²	51	15 000-25 000	19 500	Inkluderer skjerm og GNSS-mottaker (antenne)
Automatisk rattstyring	323	12	45 000-104 000	75 000	Inkluderer skjerm, GNSS-mottaker (antenne) og rattmotor
Autostyring	1044	37	76 000-150 000	117 000	Inkluderer skjerm, GNSS-mottaker og hydraulisk autostyring (klargjort fra fabrikk/aktivert eller med ettermontert ventil)
Sum	2783	100			

¹ Prisene er veiledende, eksklusiv merverdiavgift, og inkluderer ikke eventuelle årlige abonnementskostnader for korreksjonssignal eller utgifter forbundet med oppgradering av signalkvalitet.

² Dette tallet er antakelig en del høyere i virkeligheten, da vi har grunn til å tro at mye sporfølgingsutstyr kjøpes gjennom forhandlere som ikke var del av denne undersøkelsen.

Til sammenligning selges det godt over 3000 traktorer årlig i Norge (Wiersholm 2019: 3341 stk. i 2017 og 3241 stk. i 2018). Hvis vi antar at utstyr for styreassistanse i all hovedsak tas i bruk på nye traktorer, så har ca. 17 % av traktorene som er solgt i perioden 2014-2018 en eller annen form for slikt utstyr (2800 enheter styreassistanse solgt på 5 år, og $5 \times 3300 = 16\,500$ traktorer solgt i samme periode).

Salgsomfanget av annet utstyr relatert til presisjonsjordbruk var noe mindre enn for styreassistanse (Tabell 9). Dette kan nok forklares ut fra at mange som kjøper utstyr for styreassistanse ikke har noen umiddelbar plan om å ta steget videre til stedsspesifikk tildeling av en eller flere innsatsfaktorer.

Tabell 9. Antall og prisintervall på redskap/utstyr for stedsspesifikk tildeling av innsatsfaktorer, solgt i perioden 2017-2018

Redskap med presisjonsteknologi	Antall solgte	Prisintervall ¹	Gjennomsnittspris	Gjennomsnittlig pristillegg for VRT
		<i>Åkersprøyter²</i>		
Enkel trepunktssprøyte ³	-	140 000-230 000	150 000	
Trepunktssprøyte med automatisk seksjonskontroll via GNSS	110 ⁴	155 000-219 000	200 000	32 000
Trepunktssprøyte med automatisk seksjonskontroll og VRT over traktorens GNSS og ISOBUS		200 000-400 000	250 000	66 000
		<i>Mineralgjødelsespredere⁵</i>		
Enkel, trepunkts sentrifugalspreder ³	736	30 000-48 000	36 000	
Trepunkts sentrifugalspreder med mulighet for seksjonskontroll via GNSS	278 ⁴	60 000-122 000	73 000	50 000
Trepunkts sentrifugalspreder for variabel tildeling og automatisk seksjonskontroll over traktorens GNSS system via ISOBUS		120 000-150 000	136 000	100 000
		<i>Nitrogen-sensorer⁶</i>		
Passiv sensor	47	72 000- 180 000	325 000	
Aktiv sensor	12	320 000-330 000	126 000	

¹ Prisene er veiledende, eksklusiv merverdiavgift.

² Data fra tre leverandører. Alle sprøytene har 15 m arbeidsbredde.

³ Kun for sammenligning.

⁴ Antallet oppgitt samlet for begge gruppene med presisjonsteknologi.

⁵ Data fra fire leverandører.

⁶ Fire ulike produsenter, data for perioden 2007-februar 2019.

Redskap som er utstyrt med seksjonskontroll, både åkersprøyter og sentrifugalspredere (for mineralgjødelse), vil kunne brukes til å øke presisjonen i tildelingen av hhv. plantevernmidler og gjødelse. Dette innebærer at en i et regime med enhetlig tildeling unngår unødige overlapp spesielt ved vendeteiger og ved kjøring på asymmetriske/trekantede teiger. Selv om dette ikke innebærer en strategi som ivaretar stedsspesifikke behov, gir den økte presisjonen likevel en miljømessig forbedring gjennom at innsatsfaktorene utnyttes bedre. Denne miljøeffekten er noe vi ikke har regnet spesifikt på i denne utredningen, men den forventes å ligge et sted mellom null og det vi kan forvente med bruk av variabel tildeling.

Hvis vi tolker presisjonsjordbruk vidt, slik at all bruk av styreassistanse og utstyr med seksjonskontroll er inkludert (altså uavhengig av om en benytter ensartet eller variabel tildeling av innsatsfaktorene), så er omfanget ikke ubetydelig. Tar vi f.eks. utgangspunkt i antall traktorer med styreassistanse (ca. 3000), og antar at hver av disse benyttes på 400 daa, så dekker dette et areal på 1,2 mill. daa, og altså litt mer enn 10 % av det samlede jordbruksarealet i Norge. Legger vi imidlertid den strengere definisjonen av presisjonsjordbruk til grunn (krav om at innsatsfaktorer tildeles stedsspesifikt), blir omfanget vesentlig mindre. Tallene i Tabell 8 og 9 har en oppløsning som gjør det vanskelig å estimere hvor mye mindre, siden det ikke skilles mellom utstyr med seksjonskontroll og utstyr med mulighet for variabel tildeling – og hvordan utstyret for styreassistanse faktisk brukes går heller ikke fram av tallmaterialet.

Vi kan få en viss indikasjon med å se på arealet som i dag gjødsles ved hjelp av ulike nitrogen-sensorer (Tabell 9). Per februar 2019 er det solgt 59 traktormonterte nitrogen-sensorer i Norge siden 2007, der 12 av disse er med såkalt aktiv sensor mens de resterende 34 er med passiv sensor. For at

investeringen skal være lønnsom, er det en tommelfingerregel at en må kjøre på minst 3000 daa i året med den aktive sensoren (koster mest), mens det holder med 1500 daa for den billigere, passive sensoren (gjelder N-sensor®, Knud Nissen, pers. med.). Hvis vi antar at anslaget har gyldighet for alle nitrogen-sensorene, og at eierne av slike sensorer ikke taper penger på investeringen, så blir i overkant av 100 000 daa korn gjødslet med nitrogensensor hvert år (her ser vi bort fra at samme areal kan bli kjørt over flere ganger). Dette utgjør ca. 3,8 % av det totale kornarealet, eller ca. 1 % av det samlede jordbruksarealet. Konklusjonen på dette blir dermed at utbredelsen av presisjonsjordbruk i Norge i dag er av et omfang som dekker et sted mellom 1 og 10% av det samlede jordbruksarealet.

Til sammenligning ble det anslått at 10-30 % av gårdbrukerne i Tyskland hadde tatt i bruk presisjonsjordbruk allerede i 2009 (Reichardt et al. 2009). For spesialiserte produksjoner på store arealer var PA tatt i bruk i enda større skala på samme tid. For eksempel så ble presisjonsmetodikken benyttet av 56 % av alle bedriftene som produserte sukkerrør til bioetanolproduksjon i en delstat i Brasil (Silva et al. 2011).

3.2 Potensiell miljømessig nytteverdi på gårdsnivå

3.2.1 Fulldyrka eng

3.2.1.1 Styreassistanse

Nøyaktigere kjøring bidro med redusert dieselforbruk og redusert bruk av innsatsfaktorer. Effekten av dette ga en samlet, årlig reduksjon i klimagassutslippene på nesten 4 kg CO₂e/daa (Tabell 10).

Tabell 10. Årlig reduksjon i klimagassutslipp (alle tall som kg CO₂e/daa) relatert til bruk av visuell sporfølger (V), automatisk rattstyring (R) og autostyring (A) ved dyrking av eng

Prosess	Redusert dieselforbruk			Redusert bruk av andre innsatsfaktorer			Samlet innsparing		
	V	R	A	V	R	A	V	R	A
Kjemisk brakking	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kalking	0,00	0,00	0,00	0,04	0,07	0,10	0,04	0,08	0,10
Spredning	0,04	0,08	0,10	0,04	0,08	0,10	0,08	0,16	0,21
husdyrgjødsel									
Spredning	0,01	0,01	0,01	1,00	2,00	2,60	1,00	2,01	2,61
mineralgjødsel									
Såing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ugrassprøyting	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
Slått	0,14	0,29	0,37	0,14	0,29	0,37	0,29	0,57	0,75
Sum	0,19	0,39	0,51	1,23	2,45	3,19	1,42	2,84	3,70

Redusert dieselforbruk bidro med 15 % av denne reduksjonen, mens spart mineralgjødsel var den klart dominerende faktoren med et bidrag på 68 % av den samlede reduksjonen. Her inngår sparte klimagassutslipp relatert til både produksjon, transport og utslipp etter spredning av mineralgjødsel.

Vi har ikke funnet noen internasjonale studier av miljøeffekter knyttet til bruk av styreassistanse i engdyrking som dyrkes slik definert her. Bruk av faste kjørespor, der en har tilpasset alle maskiner og

redskap slik at en kun kjører i de samme sporene ved hver behandling, har imidlertid en rekke miljømessige gevinster, ikke minst på klimagassutslipp (Gasso et al. 2013).

3.2.1.2 Presisjonskalking

Effekten av spredemetode ved kalking ble gjort under forutsetning om lik gjødsling på hele arealet. Det ble forutsatt at samme utslippsfaktor (andel N₂O-N tapt per kg N tilført) var gyldig for hele arealet. Når en antok at en ved enhetlig tildeling av kalken visste riktig gjennomsnittspH, var det ingen forskjell i lystgassutslippene mellom de to spredemetodene (Tabell 11). Dette skyldes den antatte lineære sammenhengen mellom risiko for N₂O-utslipp og pH, som innebærer at hver kilo kalk spredt vil ha samme reduserende effekt på lystgassutslippene uavhengig av utgangsnivået for pH i jorda.

Tabell 11. Utslipp av lystgass fra eng etter kalking uttrykt som kg CO₂-ekvivalenter/daa/år, der kalkmengden enten er justert ut fra stedsspesifikk pH som varierer fra 5,2-5,8 innenfor samme skifte (presisjonskalking; P) eller der kalken er fordelt jevnt over skiftet (ensartet spredning; E) ut fra arealets gjennomsnittlige pH-verdi

pH-klasse ¹	pH før kalking	Lystgassutslipp etter kalking (kg CO ₂ e/daa/år)			
		P	E (pH 5,5) ²	E (pH 5,6) ³	E (pH 5,7) ⁴
1	5,2	5,2	131,9	151,8	158,4
2	5,3	5,3	131,9	145,2	151,8
3	5,4	5,4	131,9	138,5	145,2
4	5,5	5,5	131,9	131,9	138,5
5	5,6	5,6	131,9	125,2	131,9
6	5,7	5,7	131,9	118,6	125,2
7	5,8	5,8	131,9	112,0	118,6
Gjennomsnitt	5,5	5,5	131,9	131,9	138,5
Utslippsreduksjon P (per år)			0,0	6,6	13,3
Utslippsreduksjon P (5 år) ⁵			0,0	33,2	66,4
Utslippsreduksjon P (per år), avlingskorrigert ⁶			0,8	7,9	15,4
Utslippsreduksjon P (5 år), avlingskorrigert ^{5,6}			3,8	39,4	77,2

¹ Det antas at hver pH-klasse har samme areal.

² Gjennomsnittlig pH er lik faktisk gjennomsnitt; pH 5,5.

³ Gjennomsnittlig pH er 0,1 pH-enhet over faktisk gjennomsnitt; pH = 5,6.

⁴ Gjennomsnittlig pH er 0,2 pH-enhet over faktisk gjennomsnitt; pH = 5,7.

⁵ Enhet: kg CO₂e/daa/5 år.

⁶ Utslippene er justert for effekten av pH på avling, der avlingsnedgang ved enhetlig kalking på grunn av sub-optimal pH har gitt en økning i utslippene av N₂O-N tilsvarende 1 % av utnyttet, tilført N (samme N-mengde tilført ved mindre avling gir dårligere N-utnytting).

Siden det bare ble tatt ut halvparten så mange jordprøver i scenariet med enhetlig tildeling, er det imidlertid urealistisk at gjennomsnittlig pH ble riktig estimert. Hvis vi antar at en i dette scenariet overestimerte midlere pH (f.eks. ved at enkelte områder med lav pH ikke ble fanget opp i jordprøveuttaket), så økte imidlertid utslippene sammenlignet med scenariet med presisjonskalking. Økningen bidro til utslipp tilsvarende 6,6 og 13,3 kg CO₂e/daa for henholdsvis 0,1 og 0,2 pH-enheter avvik fra den faktiske midlere pH-verdien for skiftet. En potensiell gevinst av presisjonskalking til eng i området 0-13 kg CO₂e/daa er et svært konservativt estimat.

Forutsetningen om samme utslippsfaktor på hele arealet bør diskuteres, siden vi allerede har vist at varierende pH har en klar avlingseffekt. Som tidligere vist er det en positiv sammenheng mellom pH og avling, mens sammenhengen mellom pH og N₂O-utslipp er negativ. Det betyr at i områder med lav pH har utnyttingsgraden av tilført N vært lavere, med mer N tilgjengelig for tap til omgivelsene,

samtidig som at risikoen for tap av N₂O har vært større i de samme områdene. Når vi korrigerer for dette økte det årlige utslippet av CO₂e til 1-15 kg/daa, avhengig av hvor godt faktisk pH ble estimert.

På grunn av at teknologien for presisjonsgjødning til eng er litt for kort kommet i dag, har vi valgt å ikke ta med beregninger av dette her. Det er likevel på sin plass å understreke at den potensielt reduserende effekten av presisjonskalking på klimagassutslippene (relativt til enhetlig kalkspredning), ville økt vesentlig hvis en også inkluderte stedsspesifikk gjødning av enga i beregningene. Vi har beskrevet hvordan varierende pH påvirker avlingsnivået, og det er dessuten mange andre faktorer som kan bidra til ulik plantevekst innenfor samme skifte (som f.eks. overvintringsskade, dårlig drenering, jordpakking, m.m.). Når en tilfører samme gjødselmengde over det hele, vil en ved varierende avlingsnivå/næringsbehov kunne få store forskjeller i utnyttingsgraden av nitrogenet. Lav utnyttingsgrad innebærer at en større del av tilført N ikke blir tatt opp i plantene, og at dette nitrogenet dermed er utsatt for tap til omgivelsene, både i form av lystgassutslipp og som nitratutvasking/avrenning til vassdrag og fjorder.

Vi har for enkelthets skyld bare regnet på effekter av overestimert gjennomsnittlig pH for vårt eksempelbruk. Underestimert ville innebåret at det ble spredd mer kalk enn nødvendig (større utslipp), samtidig som at en ville risikere å få så høy pH på deler av skiftet, at det kunne bli begrensninger i tilgjengeligheten av flere næringsstoff (spesielt mangan og jern, men ved pH opp mot 7 også kobber, sink og bor), og dermed avlingsbegrensning og dårligere N-utnytting. Vi antar derfor at den positive effekten av presisjonskalking ville blitt omtrent den samme i forhold til ensartet spredning, både ved over- og underestimert av arealets midlere pH.

Vi kjenner ikke til noen andre studier som omhandler klimaeffekten av presisjonskalking til eng.

3.2.2 Korn

3.2.2.1 Styreassistanse

Som for eng, bidro nøyaktigere kjøring ved korndyrkinga til en reduksjon i forbruket av både diesel og innsatsfaktorer (Tabell 12).

Tabell 12. Årlig reduksjon i klimagassutslipp (alle tall som kg CO₂e/daa) relatert til bruk av visuell sporfølger (V), automatisk rattstyring (R) eller autostyring (A) ved dyrking av vårhvete

Prosess	Redusert dieselforbruk			Redusert bruk av andre innsatsfaktorer			Samlet innsparing		
	V	R	A	V	R	A	V	R	A
Kjemisk brakking	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kalking	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,08	0,03	0,06	0,08
Delgjødning ¹	0,00	0,00	0,00	0,16	0,32	1,17	0,16	0,32	1,17
Såing og gjødning	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,16
Ugrassprøyting	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02
	0,00	0,02	0,04	0,19	0,38	1,41	0,19	0,40	1,45

¹ Inkluderer både innspart gjødsel ved såing og ved delgjødning.

Den samlede årlige effekten på klimagassutslippene varierte fra 0,2 til 1,5 kg CO₂e/daa, der effekten økte med nøyaktigheten på valgt styreassistanse. Effekten av redusert dieselforbruk sto bare for 2-4 % av den samlede reduksjonen. Som for eng var innspart gjødsel den viktigste enkeltfaktoren, med en reduksjon av klimagassutslippene tilsvarende 80-83 %.

Tilsvarende beregning for bygg (data ikke vist) ga en samlet utslippsreduksjon ca 10 % lavere enn for vårhvete (0,2-1,3 kg CO₂e/daa), der forskjellen mellom artene skyldtes lavere gjødslingsnivå og dermed også mindre reduksjon ved mer nøyaktig kjøring.

Resultatene underbygger dermed det vi også fant for eng, nemlig at nøyaktig tildeling av gjødsel er en viktig faktor for å redusere klimagassutslippene forbundet med planteproduksjon – også i et scenario uten bruk av stedsspesifikk dosering (presisjonsgjødsling). Siste generasjon sentrifugalspredere har vist seg å øke spredenyaktigheten vesentlig sammenlignet med eldre modeller. Nå kommer også en ny type «eksaktgjødslere» med bruk av rørspredning (tverrgående bom a lå ugrassprøyter) og seksjonskontroll (Kuhn, 2019) som vil kunne løfte nøyaktigheten av gjødseltildelingen til et nivå langt over det som er mulig med sentrifugalbasert spredning.

Vi kjenner ikke til noen andre studier som omhandler klimagassutslipp relatert til styreassistanse i korn dyrket på normalt vis. Som nevnt for eng, finnes det imidlertid studier som beskriver miljøeffekter av bruk av faste kjørespor (f. eks. Gasso et al. 2013).

3.2.2.2 Presisjonskalking

Vi estimerte effekten av spredemetode ved kalking under forutsetning om at hele arealet ble likt gjødslet. For å unngå en situasjon med samtidig variasjon i flere variabler, ble det i første omgang antatt at utnyttingsgraden av tilført N ikke varierte, og at en dermed kunne gå ut fra samme utslippsfaktor for N₂O for hele arealet. Under disse forutsetningene var det minimal forskjell i lystgassutslippene mellom de to spredemetodene ved vårhvetedyrking (Tabell 13).

Tabell 13. Årlige utslipp av lystgass fra vårhete etter kalking uttrykt som kg CO₂-ekvivalenter per daa, der kalkmengden enten er justert ut fra stedsspesifikk pH som varierer fra 5,2-5,8 innenfor samme skifte (presisjonskalking; P) eller der kalken er fordelt jevnt over skiftet (ensartet spredning; E) ut fra arealets gjennomsnittlige pH-verdi

pH-klasse ¹	pH før kalking	Lystgassutslipp etter kalking (kg CO ₂ e/daa/år)			
		P	E (pH 5,5) ²	E (pH 5,6) ³	E (pH 5,7) ⁴
1	5,2	91,2	104,7	109,1	113,6
2	5,3	91,2	100,2	104,7	109,1
3	5,4	91,2	95,7	100,2	104,7
4	5,5	91,2	91,2	95,7	100,2
5	5,6	91,2	86,7	91,2	95,7
6	5,7	91,2	82,3	86,7	91,2
7	5,8	91,2	77,8	82,3	86,7
Gjennomsnitt	5,5	91,2	91,2	95,7	100,2
Utslippsreduksjon P (per år)			0,0	4,5	9,0
Utslippsreduksjon P (6 år) ⁵			0,0	26,9	53,8

¹ Det antas at hver pH-klasse har samme areal.

² Gjennomsnittlig pH er lik faktisk gjennomsnitt; pH 5,5.

³ Gjennomsnittlig pH er 0,1 pH-enhet over faktisk gjennomsnitt; pH = 5,6.

⁴ Gjennomsnittlig pH er 0,2 pH-enhet over faktisk gjennomsnitt; pH = 5,7.

⁵ Enhet: kg CO₂e/daa/6 år.

Siden vi her la til grunn den samme lineære sammenhengen mellom risiko for N₂O-utslipp og pH som spesifisert for eng, hadde hver kilo kalk spredt samme reduserende effekt på lystgassutslippene uavhengig av utgangsnivået for pH i jorda. Effektene av feil estimert middel-pH for scenariet med enhetlig kalking ga imidlertid mindre utslag enn ved engdyrking. Dette skyldes primært at gjødslingsnivået var vesentlig lavere her. Samlet klimagassutslipp lå i området 0-9 kg CO₂e/daa, avhengig av hvor godt gjennomsnittlig pH ble estimert.

Tilsvarende utslipp for bygg var i området 0-5 kg CO₂e/daa (Tabell 14).

Tabell 14. Årlige utslipp av lystgass fra bygg etter kalking uttrykt som kg CO₂-ekvivalenter per daa, der kalkmengden enten er justert ut fra stedsspesifikk pH som varierer fra 5,2-5,8 innenfor samme skifte (presisjonskalking; P) eller der kalken er fordelt jevnt over skiftet (ensartet spredning; E) ut fra arealets gjennomsnittlige pH-verdi

pH-klasse ¹	pH før kalking	Lystgassutslipp etter kalking (kg CO ₂ e/daa/år)			
		P	E (pH 5,5) ²	E (pH 5,6) ³	E (pH 5,7) ⁴
1	5,2	49,0	56,2	58,6	61,0
2	5,3	49,0	53,8	56,2	58,6
3	5,4	49,0	51,4	53,8	56,2
4	5,5	49,0	49,0	51,4	53,8
5	5,6	49,0	46,6	49,0	51,4
6	5,7	49,0	44,2	46,6	49,0
7	5,8	49,0	41,8	44,2	46,6
Gjennomsnitt	5,5	49,0	49,0	51,4	53,8
Utslippsreduksjon P (per år)			0,0	2,4	4,8
Utslippsreduksjon P (6 år) ⁵			0,0	14,4	28,9

¹ Det antas at hver pH-klasse har samme areal.

² Gjennomsnittlig pH er lik faktisk gjennomsnitt; pH 5,5.

³ Gjennomsnittlig pH er 0,1 pH-enhet over faktisk gjennomsnitt; pH = 5,6.

⁴ Gjennomsnittlig pH er 0,2 pH-enhet over faktisk gjennomsnitt; pH = 5,7.

⁵ Enhet: kg CO₂e/daa/6 år.

På grunn av lavere gjødslingsnivå var også det generelle utslippsnivået lavere enn tilsvarende for vårhvete.

Interaksjonseffekten mellom pH og overgjødning, der lystgasstapet fra uutnyttet nitrogen er avhengig av stedsspesifikk pH, ble inkludert i beregningene for gjødning (neste kapittel). Det er forutsatt at det i scenariet med ensartet gjødning ikke ble presisjonskalket.

Vi kjenner ikke til noen andre studier som omhandler klimaeffekten av presisjonskalking til korn.

3.2.2.3 Presisjongjødsling

Effekten av delgjødning ble gjort under antagelsen om at kornet ble tildelt samme N-mengde i sum, uavhengig av spredemetode. I scenariet beskrevet i kap. 2.4.2.3 kom det fram at det ved ensartet gjødning ble gjødslet mer enn behovet på deler av skiftet, både for vårhvete og for bygg. Videre ble det forutsatt en avlingsgevinst ved presisjongjødsling, og økt effektivitet ved tresking. I sum ga dette en reduksjon i både nitratutvasking og klimagassutslipp for presisjonsscenarioet (Tabell 15).

Tabell 15. Reduserte, årlige miljøeffekter i et scenario med presisjonsgjødsling (stedsspesifikk delgjødsling) til vårhvete og bygg, sammenlignet med tilsvarende for et scenario med ensartet tildeling av gjødsla

Prosess	Utgangsverdi	Forutsatt effekt ¹ %	Nitratutvasking kg NO ₃ -N/daa	Klimagassutslipp kg CO ₂ e/daa
<i>Vårhvete</i>				
Gjødslingseffekt på NO ₃ -avrenning	1,1 ²	50	0,6	
Gjødslingseffekt på N ₂ O-utslipp	1,1 ²	1,0		5,2
Korreksjon for effekt av pH x N ³	5,2	10		0,5
Effekt av økt avling	546 ⁴	2,4		6,5
Effekt av mer effektiv tresking	1,86 ⁵	12		0,6
Sum for vårhvete			0,6	12,7
<i>Bygg</i>				
Gjødslingseffekt på NO ₃ -avrenning	0,6 ²	50	0,3	
Gjødslingseffekt på N ₂ O-utslipp	0,6 ²	1,0		2,6
Korreksjon for effekt av pH x N ³	2,6	10		0,3
Effekt av økt avling	469 ⁴	2,0		5,2
Effekt av mer effektiv tresking	1,62 ⁵	12		0,5
Sum for bygg			0,3	8,5

¹ Se kap. 2.4.2.3 for begrunnelse av forutsetningene.

² Gjennomsnittlig overgjødsling (for mye N) ved enhetlig tildeling. Enhet: kg N/daa.

³ Forutsetter at arealet ble presisjonskalket, slik at en unngår en mulig interaksjon mellom variasjon i pH og samtidig variasjon i N-utnytting.

⁴ Antatt avlingsnivå ved enhetlig gjødsling. Enhet: kg korn/daa.

⁵ Dieselforbruk ved enhetlig gjødsling. Enhet: liter/daa.

Beregningene viste at i scenarioet med presisjonsgjødsling ble mengden N-utvasking redusert med hhv. 0,6 og 0,3 kg N/daa for vårhvete og bygg. Basert på mangeårige målinger av næringsstoffavrenning fra nedbørsfelt i norske jordbruksområder (JOVÅ-programmet), rapporterte Beckmann et al. (2012) et årlig, gjennomsnittlig nitrogentap (total-N) på 2,3-5,6 kg N/daa i korndominerte nedbørsfelt. Den kalkulerte reduksjonen i N-utvasking for vårhvete i denne utredningen utgjorde dermed 10-26 % av det samlede tapet en kunne forvente ut fra JOVÅ-målingene. Tilsvarende tall for bygg var 5-13 %. Presisjonsgjødsling har dermed et klart potensial til å kunne redusere N-utvasking fra kornproduksjonen.

Mange studier konkluderer med at PA har et potensial til å redusere N-tapet til miljøet (f. eks. Basso et al. 2016; Delgado et al. 2005, Roberts et al. 2001). Tilsvarende er også funnet under norske forhold (Korsaeth og Riley 2006).

Effekten av at en ved presisjonsgjødsling unngikk å gjødsla for mye på deler av arealet hadde en effekt på klimagassutslippene omtrent på nivå med effekten av økt avling for vårhvete. For bygg var imidlertid avlingseffekten nesten dobbelt så stor som effekten av overgjødsling, noe som nok skyldes det lavere gjødslingsnivået i bygg. Effekten av økt effektivitet ved tresking var relativt liten.

Bates et al. (2009) identifiserte et reduksjonspotensial for klimagassutslipp på 5 % (av de samlede utslippene knyttet til gjødsling med mineral-N) ved bruk av presisjonsgjødsling - uten å ha regnet med noen avlingseffekt. Tilsvarende tall i våre beregninger var 5 % for hvete og 3 % for bygg. Som tidligere diskutert (se kap. 2.3.2.3) er det imidlertid grunn til å anta en viss avlingseffekt av presisjonsgjødsling.

3.2.2.4 Presisjonssprøyting av ugras

Potensialet for redusert forbruk av ugrasmidler, og dermed redusert miljøfotavtrykk ved presisjonssprøyting, ble beregnet for ulike scenarier for andel av arealet med ugraspress som krever ugrastiltak (Tabell 16).

Tabell 16. Potensialet for årlig reduksjon i bruken av tre ugrasmidler, og dermed redusert miljøfotavtrykk, ved bruk av presisjonssprøyting med ulike scenarier for ugrasfordeling. Verdiene gjelder både bygg og vårhvete, siden ugraskontroll var forutsatt lik i de to vekstene

Sprøytet areal %	Årlig reduksjon per daa				
	glyfosat g	fluoksypyr g	florasulam g	Toks. ¹ kg1,4-DB	Klimagass kg CO ₂ e
100 ²	93	7,0	0,2		
90	0,9	0,7	0,0	0,1	0,1
75	23	1,8	0,0	0,1	0,3
50	47	3,5	0,1	0,3	0,6
25	70	5,3	0,1	0,4	0,9
10	84	6,3	0,2	0,5	1,1

¹ Terrestrisk økotoksisitet ble beregnet for å illustrere den samlede økotoksiske effekten av alle ugrasmidlene. Toksisitet-parametere uttrykkes som 1,4-DB-ekvivalenter (Roer et al. 2012).

² Referanseverdier tilsvarende ordinær breisprøyting for å kalkulere reduksjonen.

Analysen illustrerer hvordan en reduksjon i sprøytet areal slår ut både i form av redusert toksisk effekt og i form av mindre klimagassutslipp.

I et langvarig forsøk med åpen-åker-vekster sammenlignet Hunt et al. (2017) toksiske effekter (modell-beregnet effekt på ferskvann) av et system med lite bruk av ugrasmidler med tilsvarende effekter av konvensjonell ugrasbehandling. De fant at systemet med minst bruk av ugrasmidler hadde 81-96 % lavere beregnet toksisitet.

Andre studier som har sammenlignet presisjonssprøyting med ordinær breisprøyting av ugras har ofte benyttet indeksen TFI, som er definert som benyttet dose/godkjent maksimumsdose summert for alle aktivstoffene. Berge et al. (2016) viste i en simuleringsstudie at mens bondens praksis lå rundt TFI = 1 for et vårkorn-skifte i to påfølgende år, ga presisjonssprøyting med preparat og dose basert på anbefaling i NIBIOs web-baserte beslutningsstøtte-verktøy VIPS ugras og en kamera-basert ugrassensor, TFI-verdier på 0,58 og 0,01. Dette tilsvarte reduksjoner i ugrasmiddelbruk på hhv 68 og 99 %. I en nylig dansk studie i høsthvete, ble TFI simulert til 0,73 og 0,22 for presisjonssprøyting basert på et tilsvarende verktøy og en kamera-basert ugrassensor (Rydahl et al. 2018).

3.2.3 Potet

3.2.3.1 Styreassistanse

Vi fant det ikke hensiktsmessig å gjennomføre en egen kalkyle for miljøeffekter av økt nøyaktighet i kjøring relatert til potetdyrking. Økt nøyaktighet gir økt fortetning, og sannsynligvis større arealutslipp men relativt uendrede utslipp per kilo produsert potet (se kap. 2.3.3.1 for en mer utfyllende forklaring).

3.2.3.2 Presisjonskalking

Vi gjennomførte ingen egen beregning av miljøeffekter ved presisjonskalking av potetarealet. Dette skyldes at vi ikke fant grunnlag for å legge inn noen avlingseffekt av pH. En mulig effekt av at en utjevning av pH (presisjonskalking) reduserte risikoen for at overgjødslet N (for mye tilført N i forhold til behovet) havnet i områder med lav pH, som kunne gitt store lystgasstap, er inkludert i kapitlet om presisjonsgjødsling (kap. 3.3.3.3).

3.2.3.3 Presisjonsgjødsling

Miljøeffektene av presisjonsgjødsling til potet ble beregnet ut fra tilsvarende effekter for bygg, med et 20 % påslag. Presisjonsgjødsling ville dermed gi en reduksjon i nitratutvaskingen fra potet på 0,33 kg NO₃-N/daa relativt til ensartet gjødsling. Tilsvarende reduksjon i klimagassutslipp var på 3,4 kg CO₂e/daa.

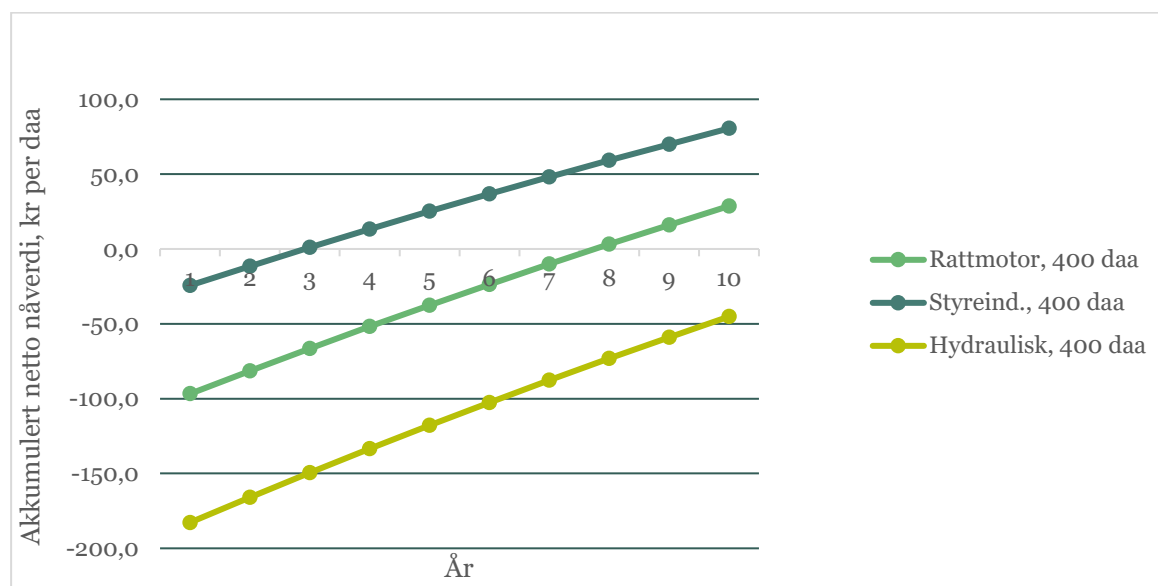
I en review-artikkel viste Shresta et al. (2010) til flere studier der en inndeling av potetåkeren i delskifter med individuell gjødsling reduserte nitratutvaskingen vesentlig (inntil 25 %). Van Evert et al. (2012) dokumenterte at sensorbaserte målinger av lysrefleksjon har et potensial for å kunne nyttes til å estimere N-behov i potet, og til og med redusere mengden N gjødslet uten at det reduserer avlingene, selv om det virker som om metodikken så langt bare i svært begrenset grad er tatt i bruk i praksis (Kempenaar et al. 2018).

3.3 Potensiell økonomisk nytteverdi på gårdsnivå

3.3.1 Fulldyrka eng

3.3.1.1 Styreassistanse

Fig. 2 viser netto akkumulert netto nåverdi per daa over 10 år for investering i tre typer traktorstyresystem på et bruk med 400 dekar fulldyrka eng og minimumspriser for utstyret. Avlingen er benytta til produksjon av silofôr i rundballer i et intensivt system. De økonomiske fordelene er knytt til noe bedre utnyttelse av husdyrgjødsel og kunstgjødsel som følge av at arealene med overlapp reduseres samt til sparte tid og maskinkostnader som følge av at arbeidet gjøres raskere. Det er ikke regna høyere avlinger, men man kan ikke utelukke at for eksempel mer nøyaktig spredning av husdyrgjødsel vil ha en svak positiv effekt på avlinga ved engdyrking. Eksempelvis vil arealet med sviskader som følge av for mye husdyrgjødsel reduseres og risiko for at for mye husdyrgjødsel i noen områder kan påvirke førkvaliteten negativt vil og reduseres.



Figur 2. Akkumulert netto nåverdi for investering (minimumspriser) i rattmotor, styreassistanse og hydraulisk styring for eng.

Med minimum priser på utstyret er det lønnsomt både med rattmotor og styreindikator, det gir en årlig avkastning på henholdsvis kr 3 og kr 8 per daa. Hydraulikkstyring er ikke lønnsomt den akkumulerte nåverdien er negativ. Det er små merverdier per dekar av de teknologier som undersøkes og kritiske faktorer vil være pris på utstyret og hvor stort areal utstyret benyttes på. Ved bruk av gjennomsnittspriser på utstyret er rattmotor fortsatt lønnsomt og gir ca. 1 kr i gjennomsnittlig årlig avkastning. Med 600 daa eng er rattmotor lønnsomt (ca. 2 kr/daa) med gjennomsnittspriser mens hydraulikkstyring da gir om lag samme avkastning, ca. 2 kr/daa, med rimeligste alternativ for investeringskostnader. Ingen av disse systema er imidlertid så lønnsomme som styreindikator.

3.3.1.2 Presisjonskalking

Fystro og Bakken (2005) undersøkte bl.a. effekten av pH på grasavlinger i 18 forsøksfelt fordelt over de viktigste grasproduksjonsområdene i Norge over en fireårsperiode. Før kalking dekket disse feltene et spenn i pH på 4,9-5,6. Resultatene viste at på jord med pH<5,3 ga kalking en gjennomsnittlig avlingsøkning på 9,5 %, mens på jord med pH>5,3 var meravlinga 3 %. I våre beregninger ble meravling ved pH=5,3 satt til 6 %. I tråd med optimalintervallet i pH for de mest vanlige grasartene i eng (Nedrebø og Nome 1976, sitert av Nesheim 2014) ble det ikke regnet noen avlingseffekt av kalking ved pH>5,7.

For å beregne avlingseffekten av kalking for vårt eksempel har vi først antatt at en har vært i stand til bestemme faktisk, gjennomsnittlig pH for grasarealet (pH=5,5) for både stedsspesifikk (presisjonskalking) og ensartet kalking. Siden en normalt tar ut noen flere jordprøver og produserer georefererte pH-kart ved presisjonskalking, har vi også sett på effekten av at en i scenariet med ensartet kalking har feilestimert den faktiske, gjennomsnittlige pH-verdien (på grunn av færre jordprøver). Her har vi sett på et avvik fra gjennomsnittet på hhv. 0,1 og 0,2 pH-enheter (Tabell 17).

Tabell 17. Meravling av gras (% TS) etter kalking, der kalkmengden er justert ut fra stedsspesifikk pH som varierer fra pH 5,2-5,8 innenfor samme skifte (presisjonskalking; P) eller der kalken er fordelt jevnt over skiftet (ensartet spredning; E) ut fra arealets gjennomsnittlige pH

pH-klasse ¹	pH før kalking	Gjennomsnittlig, årlige meravling ved kalking (%)			
		P	E (pH 5.5) ²	E (pH 5.6) ³	E (pH 5.7) ⁴
1	5,2	9,5	7,7	7,1	5,9
2	5,3	6,0	4,8	4,2	3,6
3	5,4	3,0	2,4	1,8	1,2
4	5,5	3,0	3,0	2,4	1,8
5	5,6	3,0	3,0	3,0	2,4
6	5,7	3,0	3,0	3,0	3,0
7	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Middel	5,5	3,9	3,4	3,1	2,6
Meravling P ⁵ (per år)			0,5	0,9	1,4
Meravling P ⁵ (5 år)			2,6	4,3	6,9

¹ Det antas at hver pH-klasse har samme areal.

² Gjennomsnittlig pH er lik faktisk gjennomsnitt; pH 5.5.

³ Gjennomsnittlig pH er 0,1 pH-enhet over faktisk gjennomsnitt; pH = 5.6.

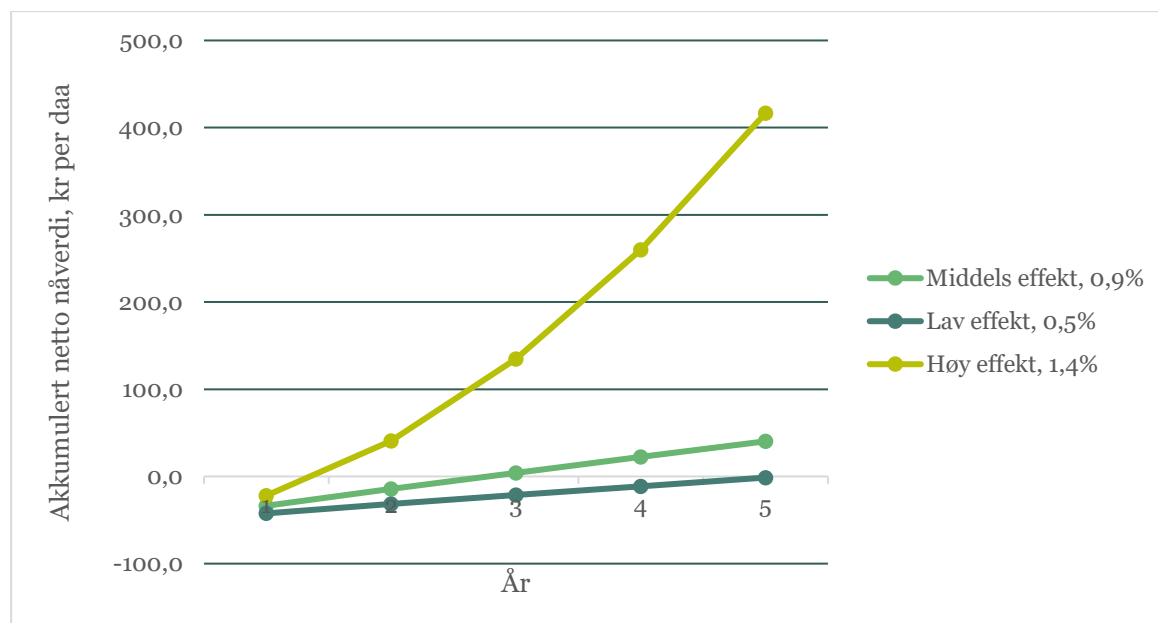
⁴ Gjennomsnittlig pH er 0,2 pH-enhet over faktisk gjennomsnitt; pH = 5.7.

⁵ Prosentpoeng større avling ved presisjonskalking enn ved ensartet kalking.

Kalking førte til en gjennomsnittlig meravling på 3,4 % for scenariet med ensartet spredning, der det ble forutsatt at estimert pH var riktig. Presisjonskalking, der kalkmengden ble justert stedsspesifikt ut fra hvordan pH-verdien endret seg over skiftet, ga en gjennomsnittlig, årlig meravling på 3,9 %, og altså 0,5 prosentpoeng høyere årlig engavling enn ensartet kalking. Summert over én kalkingsperiode ga dette altså en meravling for presisjonskalking på 2,6%. At avlingsgevinsten av presisjonskalking ble såpass liten skyldes først og fremst at plantenes toleransespenn for variasjon i pH er relativt vidt.

Forutsetningen om at en ved ensartet kalking estimerte gjennomsnittlig pH korrekt har også bidratt. Hvis estimert, gjennomsnittlig pH antas å ligge 0,1 eller 0,2 prosentenheter over korrekt nivå ved ensartet kalking (færre jordprøver), økte meravlingen ved presisjonskalking til hhv. 4,3 og 6,9 prosentpoeng større avling for én kalkingsssyklus. Vi har ikke kalkulert effekten av det motsatte, altså at estimert gjennomsnitt-pH ligger under det faktiske gjennomsnittet, men antar om lag samme effekt. En underestimert av faktisk pH ville ført til at deler av arealet ville fått en pH på over 6,5 etter kalking (ved ensartet kalking), noe som sannsynligvis ville hatt en negativ avlingskonsekvens (utenfor optimalintervallet).

For de økonomiske beregningene av presisjonskalking er lagt til grunn at man betaler en fast og noe høyere pris per tonn spredd kalk og en ekstra kostnad per daa for mer detaljert kartlegging av pH. Vi legger til grunn en merpris på kr 65 per tonn kalk og at prisen for georefererte jordprøver er kr 37,50 per dekar, ferdig analysert. Kostnader med tradisjonelle jordprøver trekkes fra. Størrelsen på arealet som skal kalkes er av mindre betydning og ikke vurdert. Økonomien med presisjonskalking i eng er imidlertid sterkt avhengig av forutsetninger for effekt på avlinga og eventuell innsparingen for kalk. Avlingseffekten er satt til henholdsvis 0,5, 0,9 og 1,4 prosent ved henholdsvis Lav, Middels og Høy effekt (Tabell 17). Akkumulert netto nåverdi fremgår av fig. 3, kalkingsintervallet er 5 år for eng.



Figur 3. Akkumulert netto nåverdi for presisjonskalking i eng etter antatt lav, middels og høy avlingseffekt.

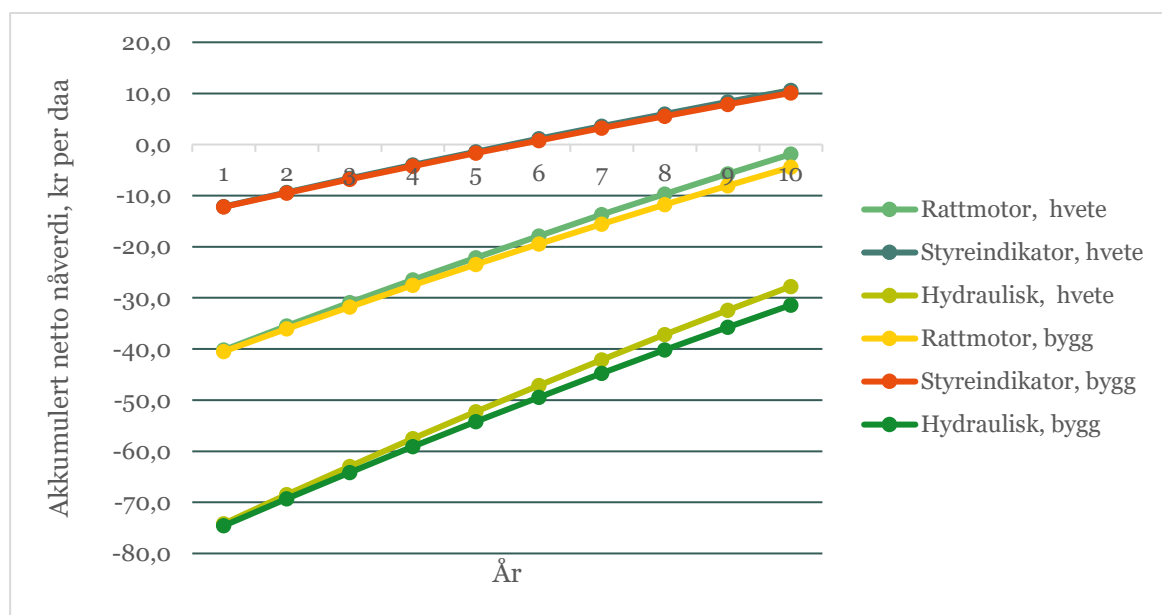
Med lav avlingseffekt er den årlige avkastninga rundt kr 0 per daa, ved middels effekt kr 8 per daa og ved høy effekt kr 83 per daa. Det er ikke forutsatt kalksparing med presisjonskalking, det vil eventuelt bedre økonomien. En strategi kan være å leie inn presisjonskalking hvis jordkartleggingen med georefererte prøver viser at man har stor variasjon i pH men gå tilbake til jevn spredning dersom det over tid viser seg at variasjonen er blitt mindre.

3.3.2 Korn

3.3.2.1 Styreassistanse

Beregningene for hvete og bygg tar utgangspunkt i en normalavling på henholdsvis 546 og 469 kg som selges for kr 3,26 og kr 2,76 per kg. Arealet er 1 000 daa fordelt med 400 dekar på bygg og hvete og 200 daa poteter. Gjødslingen er mineralgjødning tilført som fullgjødning NPK 22-2-12 på våren og som OPTI-NS™ 27-0-0 ved overgjødning. Mengdene er fastsatt for å gi 7+7 kg N for hvete og 8+4 kg N for bygg. Det benyttes 20 kg såfrø per daa for begge kornslaga. Avlingen er ikke påvirket av overgang til presisjonsstyring men da overlappen reduseres ved såing, gjødning og sprøyting vil mengdene innsatsfaktorer reduseres. I tillegg sparer man noe arbeid og maskinkostnader av samme årsak.

Fig. 4 viser akkumulert netto nåverdi over 10 år for hvete og for bygg, når begge dyrkes på et areal på 400 daa.



Figur 4. Akkumulert netto nåverdi for investering i rattmotor, styreassistanse og hydraulikkstyring for 400 dekar mathvete og 400 daa bygg.

Styreindikator er lønnsomt både for mathvete og bygg og gir en årlig gjennomsnittlig avkastning på ca. 1 kr per daa ved de laveste prisene og ca. halvparten av det (kr 0,5 per daa) ved gjennomsnittspriser. Ved større areal (600 daa) øker verdien til ca. kr 1,5 per daa og rattmotor aktualiseres, spesielt for hvetedyrking. Skjæringspunktet ser ut til å ligge rundt 750 daa hvete og 750 daa bygg, i så fall synes rattmotor å være lønnsomt mens hydraulisk styring vil kreve større areal for å forsvare investeringen om den bare skal benyttes ved korndyrking.

3.3.2.2 Presisjonskalking

For korn foreligger det ingen nyere studier her til lands på effekter av pH på avling. Singh og Myhr (1998) publiserte tall fra et fireårig forsøk gjennomført i begynnelsen på 90-tallet, som viste at en økning fra pH 5,5 til 6,5 ga en gjennomsnittlig, årlig avlingsøkning i bygg på 8 %. I en forsøksserie med korn som ble gjennomført på 60-tallet (Stabbetorp 1978, sitert av Nesheim 2014) viste tallene at på jord med pH < 5,5 var meravlingen ved kalking (600 kg/daa kalksteinsmel) på 8 %, mens på jord med pH over 5,5 var avlingsøkningen 5 %. Det ble også registrert en liten avlingsgevinst ved kalking av jord over pH 6 (6 kg korn/daa). I våre videre kalkyler brukte vi verdiene fra Stabbetorp (1978) for å estimere meravlingen for kalking ved ulike start-pH, der vi antok at de relative effektene er gyldige i dag, selv med et vesentlig høyere avlingsnivå. Meravling ved pH 5,5 ble satt til 6,5 %. Med

utgangspunkt i optimalintervallet i pH for bygg og hvete (Nedrebø og Nome 1976) ble det imidlertid ikke regnet noen avlingseffekt av kalking ved pH>6. Videre antok vi en gradvis avtagende avlingseffekt fra pH 5 til pH 6.

Som for eng har vi i vårt eksempel først antatt at en har vært i stand til bestemme faktisk, gjennomsnittlig pH for arealet. Vi har også her sett på effekten av at en i scenariet med ensartet kalking har feilestimert den faktiske, gjennomsnittlige pH-verdien (Tabell 18)

Tabell 18. Meravling av korn (%) ved kalking, der kalkmengden er justert ut fra stedsspesifikk pH som varierer fra pH 5,2-5,8 innenfor samme skifte (presisjonskalking; P) eller der kalken er fordelt jevnt over skiftet (ensartet spredning; E) ut fra arealets gjennomsnittlige pH

pH-klasse ¹	pH før kalking	Gjennomsnittlig, årlige meravling ved kalking (%)			
		P	E (pH 5.5) ²	E (pH 5.6)	E (pH 5.7)
1	5,2	7,0	3,8	2,6	1,6
2	5,3	7,0	5,1	3,8	2,6
3	5,4	7,0	6,2	5,1	3,8
4	5,5	5,5	5,5	4,7	3,6
5	5,6	4,0	4,5	4,0	3,2
6	5,7	2,0	2,8	2,5	2,0
7	5,8	1,0	2,0	1,8	1,5
Middel	5,5	4,8	4,3	3,5	2,6
Meravling P ⁵ (per år)			0,5	1,3	2,2
Meravling P ⁵ (6 år)			3,1	7,8	13,1

¹ Det antas at hver pH-klasse har samme areal.

² Gjennomsnittlig pH er lik faktisk gjennomsnitt; pH 5.5.

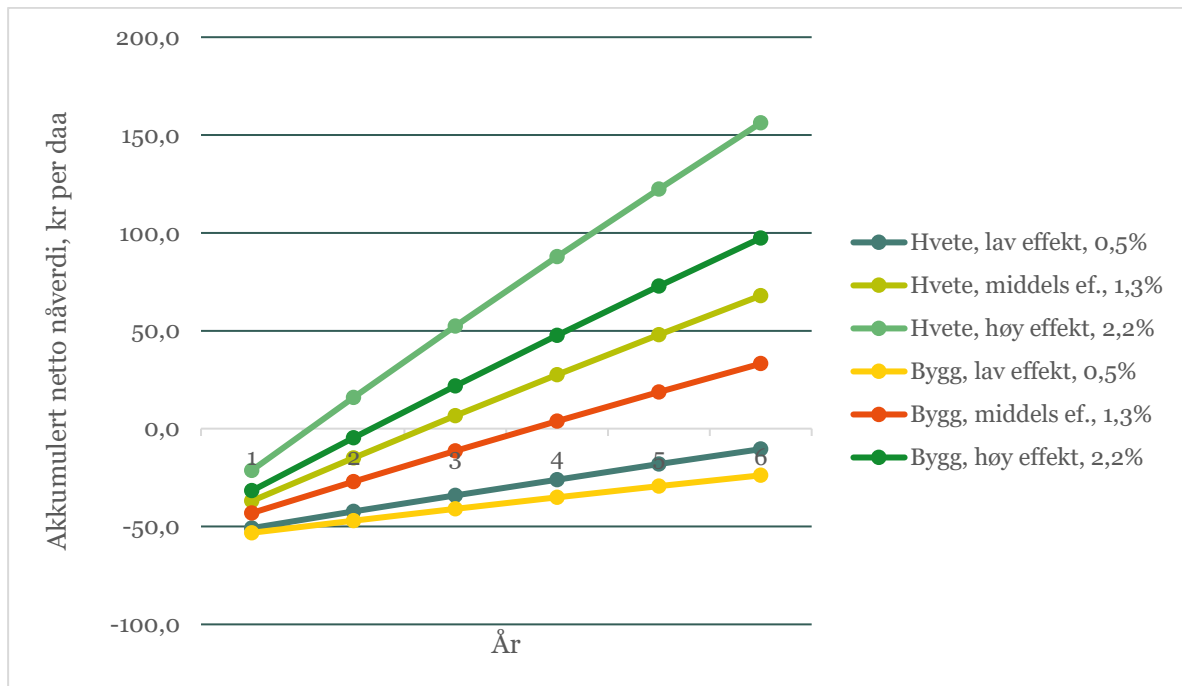
³ Gjennomsnittlig pH er 0,1 pH-enhet over faktisk gjennomsnitt; pH = 5.6.

⁴ Gjennomsnittlig pH er 0,2 pH-enhet over faktisk gjennomsnitt; pH = 5.7.

⁵ Prosentpoeng større avling ved presisjonskalking enn ved ensartet kalking.

For scenariet med ensartet spredning medførte kalking en meravling av korn på 4,3 % som et årlig gjennomsnitt innenfor kalkingscyklusen (6 år). Tilsvarende tall for presisjonskalking ga en meravling på 4,8 %, og dermed en meravling relativt til ensartet spredning på 0,5 prosentpoeng. For hele perioden, fra kalking til neste kalking, ville dette ha summert seg til en samlet meravling for presisjonskalking på 3,1 prosentpoeng mer enn tilsvarende oppnådd med ensartet kalking. Hvis faktisk pH ble overvurdert med 0,1 eller 0,2 pH-enheter i scenariet med ensartet kalking, økte meravlingen av presisjonsskalking med hhv. 7,8 og 13,1 prosentpoeng for hele kalkingscyklusen.

På samme måte som for eng er det antatt at man ikke vil spare kalk med presisjonskalking selv om det kan være tilfelle enkelte år. Fig. 5 viser at resultatet både for hvete og bygg avhenger sterkt av forutsetningene for avlingseffekter. Avlingseffekten er satt til 0,5 % (lav), 1,3 % (middels) eller 2,2 % (høy) for begge kornslaga (jfr. Tabell 18).

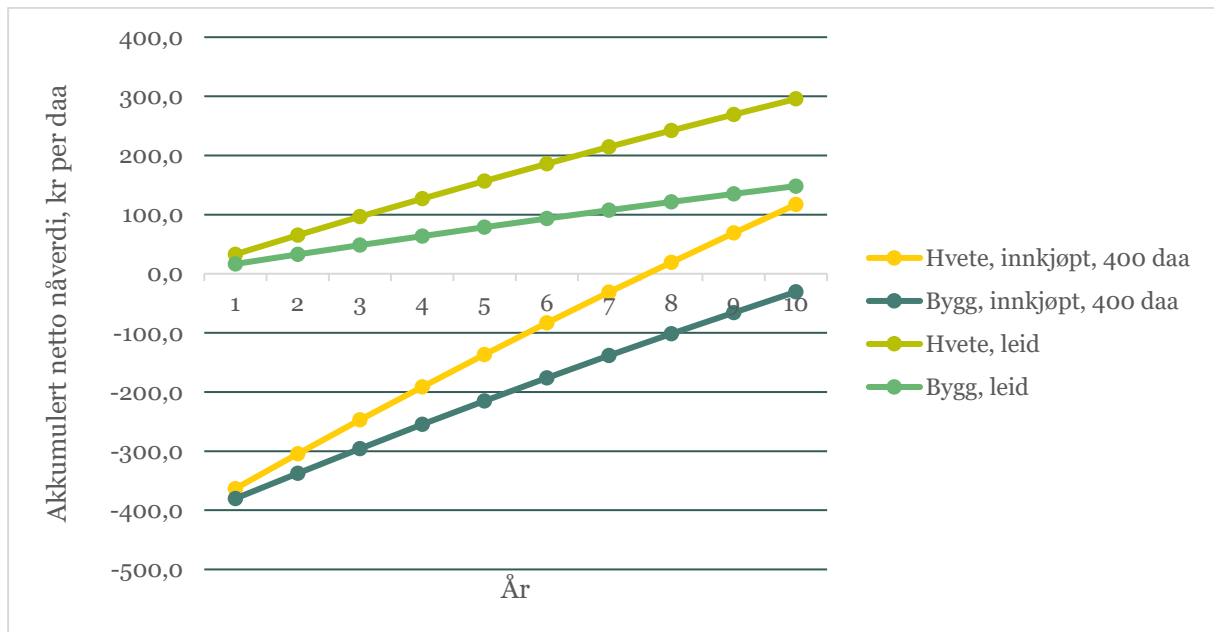


Figur 5. Akkumulert netto nåverdi for presisjonskalking i hvete og bygg ved lav, middels og høy avlingseffekt.

For hvete varierer den årlige gjennomsnittlige netto nåverdi fra -1,5 kr ved lav avlingseffekt, kr 11 per daa ved middels, til kr 26 ved høy avlingseffekt. Effekten er noe mindre for bygg fra -4 kr per daa (lav), kr 5,5 ved middels og kr 16 ved høy avlingseffekt. På samme måte som ved engdyrking vil de økonomiske fordelene av presisjonskalking avhenge mye av variasjonen i pH innenfor et skifte og man kan gå tilbake til jevn spredning dersom denne variasjonen reduseres over tid.

3.3.2.3 Presisjongjødsling

For N-sensor er det utført beregninger både med innkjøpt utstyr og med leie av tjenesten til en pris på kr 28 per daa. Det nyttes aktiv N-sensor til korn. Ved avskrivning av innkjøpt utstyr fordeles kostnadene over 1000 dekar. Avlingseffekten er satt til 2,4 % for hvete og 2,0 % for bygg. Videre legges til grunn at arbeidet med skurtreskinga reduseres med 12 % både for bygg og mathvete fordi man får en jevnere åker mindre partier med legde. Dette medfører at man kan øke hastigheten ved kjøring av skurtreskeren. Det vil og påvirke kapasiteten ved skurtreskingen som ofte bestemmer hvor stort kornareal som kan drives på en enhet og føre til større optimale enheter ved korndyrking. Fig. 6 viser beregningsresultater for bruk av N-sensor i hvete og bygg.



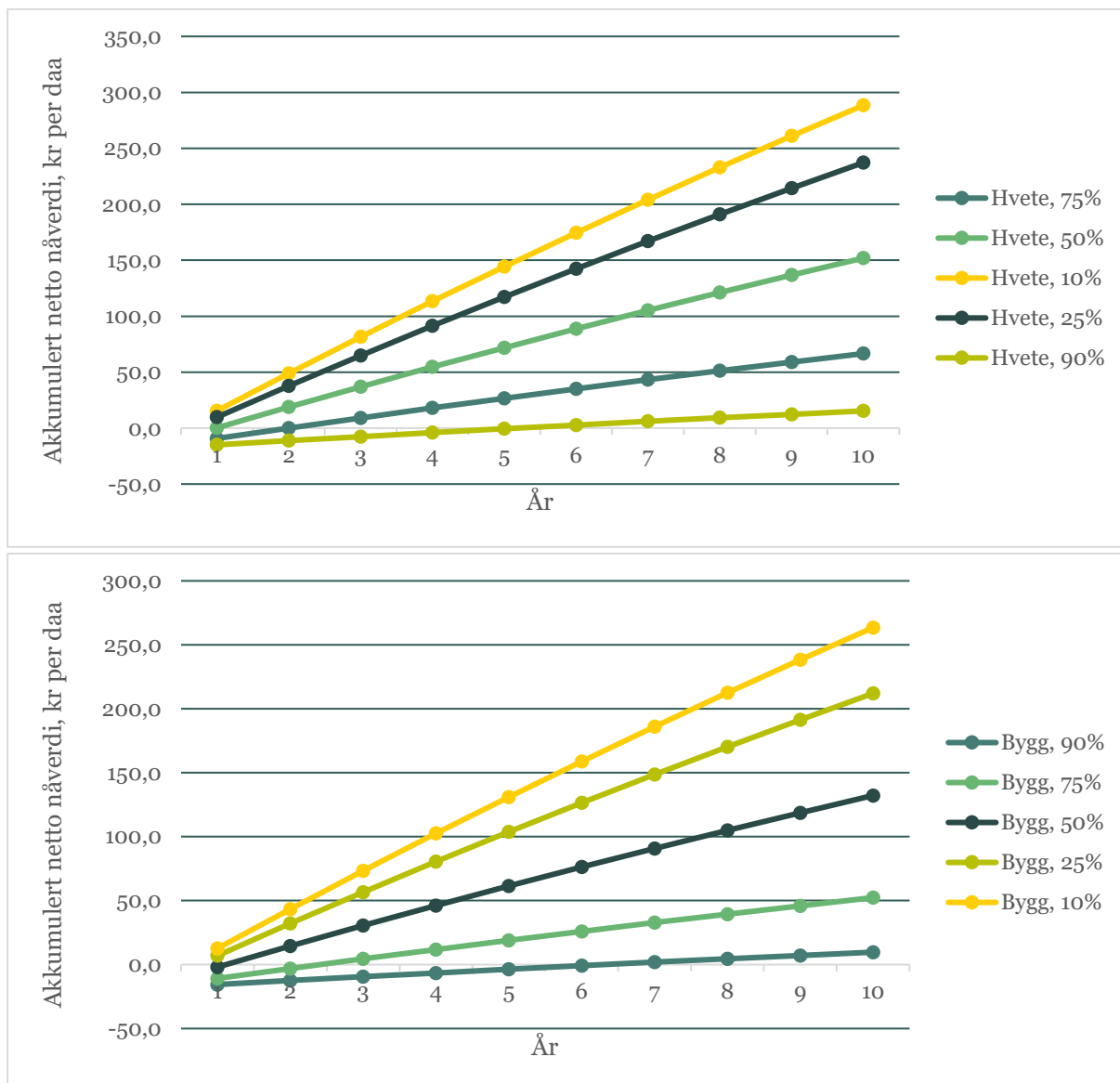
Figur 6. Akkumulert netto nåverdi for VRA-gjødsling med innkjøpt eller leid aktiv N-sensor i hvete og bygg.

Under forutsetning om leie kan man legge til grunn en årlig gevinst på ca. kr 30 per daa for mathvete og kr 15 for bygg. Det synes ulønnsomt å investere i innkjøpt utstyr med VRA-spredning og N-sensor med de investeringskostnader og arealstørrelser som her er lagt til grunn. Har man større areal vil imidlertid eget utstyr bli mer lønnsomt, skjæringspunktet ser ut til å ligge rundt 1700 dekar totalt før enn eget utstyr blir mer lønnsomt enn leie av tjenesten til den prisen som er benytta i beregningene.

3.3.2.4 Presisjonssprøyting i ugras

For sprøyting i korn er det lagt til grunn brakking og en selektiv ugrasbehandling årlig samt at det ikke er avlingsvekst ved presisjonssprøyting hverken for hvete eller bygg. Det er rett nok noe mindre sprøytestress på kulturplantene fordi det blir mindre sprøyting, men dette er antatt å være kortsiktige effekter som plantene korrigerer for senere i sesongen slik at man ikke vil ha noen avlingseffekt ved høsting. Dersom man kommer til at avlingene øker som følge av presisjonssprøyting, så vil denne effekten komme i tillegg til effekten av spart sprøytevæske.

Spørsmålet er hvor stort ugrasareal som må behandles og som bestemmer besparelse for sprøytevæske. I Figur 7 er regna 5 alternativer med behandling av 10, 25, 50, 75 og 90 prosent av arealet for henholdsvis mathvete og bygg. Dersom det er lite ugras og dette ugraset er konsentrert til visse partier av åkeren er det større besparelser fordi systemet, i motsetning til ved en tradisjonell sprøyting, bare vil behandle areal med mye ugras. Beregningene er foretatt for både hvete og bygg og med bruk av minimumsverdier for investeringskostnader i VRA-sprøyteutstyr.



Figur 7. Akkumulert netto nåverdi for VRA-sprøyting i hvete (øverst) og i bygg (nederst) med sprøyting på henholdsvis 10, 25, 50, 75 og 90 prosent av arealet. Minimum kostnader for investering i utstyr, 400 daa mathvete og 400 daa bygg.

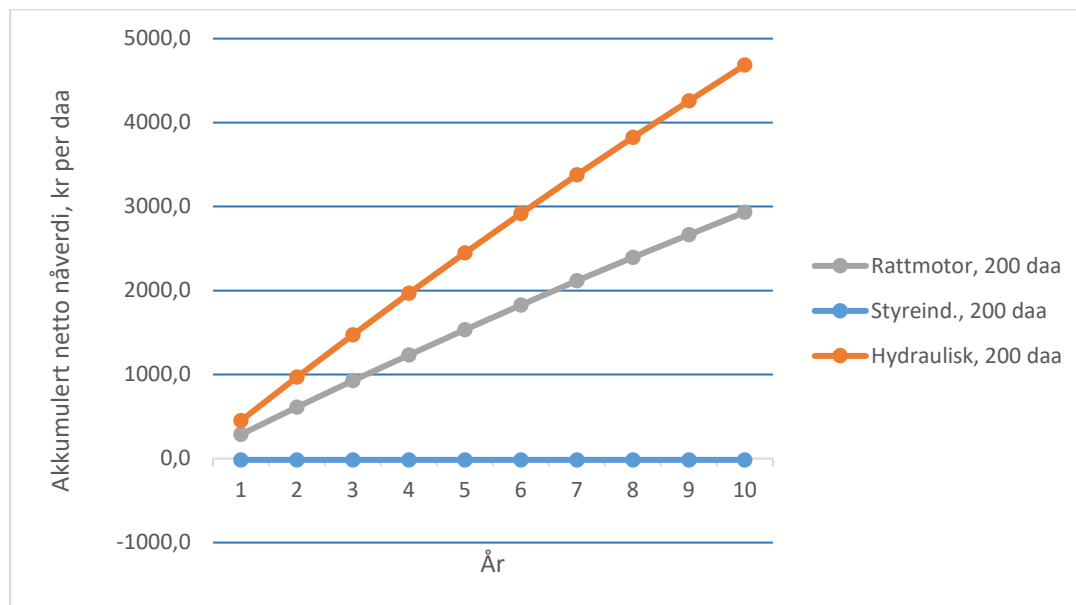
De årlige besparelsene med presisjonssprøyting utgjør ca. kr 24 per dekar ved hvetedyrking dersom bare 25 % av arealet behandles, og kr 7 dersom man likevel må behandle 75 % av arealet. Regner man gjennomsnittlige maskinkostnader reduseres besparelsene til kr 19 og kr 2,5 for de samme alternativa for hvete. For bygg er fordelene med presisjonssprøyting noe mindre enn for mathvete, henholdsvis kr 21 ved behandling av 25 % av arealet og kr 5 om man må behandle 75 %. Besparelsene kan i gunstige tilfeller komme opp i kr 29 per daa for hvete og kr 26,5 for bygg om man kan spare 90 % av sprøytekostnadene. Men ved de laveste anslaga for besparelser (10 %) er det ikke lønnsomt å investere i utstyr for presisjonssprøyting.

3.3.3 Potet

3.3.3.1 Styreassistanse

Potet er en vekst med stor verdiproduksjon per daa i forhold til eng og korn, slik at man må forvente større verdiøkning per dekar. Vi har regnet på effekten av styresystem for et areal på 200 dekar poteter. Utstyret for presisjonsstyring brukes i tillegg på 400 daa bygg og 400 daa mathvete. Til grunn for beregningene ligger en salgbar avling på 3 500 kg matpoteter per dekar og en pris på kr 3,70 per kg. Gjødslingen er satt til 11 kg N per daa og fordelt med 70 % tilført som mineralgjødning (NPK 12-4-18) i rader ved setting og 30 % som kalksalpeter (15,5 %N) ved overgjødning i sesongen. Det nyttes 200 kg settepotet per daa. Videre sprøytes det én gang mot ugras, 4 ganger mot tørråte og dessuten svies riset ned med sprøyting før høsting.

Ved bruk av automatisk rattstyring eller full autostyring i potet kan man få mer presis opprading og plass til flere rader på samme arealenhet. Dette gir større avling per arealenhet men krever og mer bruk av settepoteter og av mineralgjødning ved setting. Overlappen er satt til 10 cm uten presisjonsstyring og med sporfølger, til 5 cm for rattmotor og til 2 cm for hydraulisk styring. I forhold til bredden på utstyret ved setting (1,6 m) blir det en besparelse på 3,1 % ved rattmotor og 5 % ved autostyring. Det gir også tilsvarende høyere arbeidsforbruk og maskinkostnader for disse operasjoner samt ved høsting. I vekstsesongen vil man imidlertid spare noe tid og kostnader som følge av mindre overlapp ved presisjonsstyring forutsatt at redene passer i forhold til bredda på utstyret. Her benytter man sprøyte og gjødselspreder med bredde 12 m og besparelsen blir vesentlig mindre, 0,33 og 0,53 %, selv om overlappen reduseres like mye. Figur 8 viser resultatene ved presisjonsstyring i potet.



Figur 8. Akkumulert netto nåverdi for investering i rattmotor, styreassistanse og hydraulisk styring for 200 dekar poteter.

Investering i styreassistanse i form av rattmotor og hydraulisk styring er lønnsomt i potet, den årlige avkastningen ligger på henholdsvis 293 og 469 kr per daa ved de laveste verdier for maskininvesteringer mens styreindikator antas ikke å ha noen effekter. Verdien blir bare marginalt lavere ved bruk av gjennomsnittlige maskinkostnader, kr 290 og kr 465. Den positive effekten kommer i hovedsak av bedre arealutnyttelse og høyere avlinger som langt overgår effekten av merforbruk av gjødning, settepoteter, arbeids og maskinkostnader. For et bruk med 200 dekar vil den gjennomsnittlige årlige effekten bli kr 58 600 for rattmotor og kr 83 800 for hydraulisk styring.

Det er ikke hensyntatt at presisjonsstyring forventes å påvirke potetkvaliteten og salgbar avling til matpotet. Da prisforskjellen mellom industripotet og matpotet er betydelig vil eventuelle forbedringer her potensielt ha stor betydning for økonomien i potetdyrkinga. Det er to parameter som særlig antas å bli påvirket av presisjonsstyring i potet, andel grønne poteter og andel skadde poteter ved opptak. Andel grønne poteter kan anslås til 2 % og andel med skadde til 2,5 % (Per J. Møllerhagen, pers. med.). Andelen grønne poteter antas å bli redusert med 10 % til 1,8 % fordi radene vil stå jevnere med mindre lysåpning mens andelen skadde poteter er antatt vil reduseres med 5 % som følge av mer nøyaktig plassering av fåra ved presisjonsstyring. Samlet kan dette innebære besparelser på 0,33 % noe som vil innebære et årlig tillegg på inntil kr 30 per dekar for både rattstyring og hydraulisk styring.

Det er ikke foretatt beregninger for presisjonskalking i potet. Vi har ikke noe grunnlag for å anslå avlingseffekt ved presisjonskalking i potet. Det er ikke ønskelig med høy pH ved potetdyrking og en vanlig praksis er derfor å kalke jorda etter potetdyrkinga når potetdyrkinga inngår i et 6-årig omløp. Det kan antagelig påregnes bedre kvalitet pga. mindre skurv som følge av at områder med for høy pH reduseres, dette antas imidlertid å ha størst betydning ved svært høy pH noe som er lite sannsynlig når kalkingen finner sted i god tid før potetdyrkinga.

For bruk av N-sensor mangler det og studier som kan bekrefte avlings- eller kvalitetseffekter ved bruk av N-sensor i potet. Det er potensielt positive effekter av å gjødsle etter behov, men nitratmåling av plantesaften har så langt gitt best prediksjon av N-behov. Det trengs mer utviklingsarbeid før N-sensor eventuelt kan brukes til å avgjøre gjødslingsbehov. N-sensor kan brukes for å utjamne forskjeller åkeren, noe man ikke får gjort ved bruk av nitratmåling av plantesaften. Ved potetdyrking er det tilstrekkelig med passiv N-sensor som er noe rimeligere enn aktiv sensor som nyttes ved korndyrking. Denne fleksibiliteten gjør at passiv N-sensor likevel kommer dårlig ut også for poteter ved investering i slikt utstyr.

3.4 Samlet økonomisk og miljømessig nytteverdi

3.4.1 Samlet miljømessig nytteverdi

Vi har valgt å kun inkludere teknikker som har vist seg å være økonomisk lønnsomme (jfr. kap. 3.3) når vi har beregnet samlet miljømessig nytteverdi (Tabell 19). Den miljømessige nytteverdien er beregnet per dekar, per bruk og samlet for alt areal vi har anslått at våre resultater har gyldighet for (jfr. Tabell 7).

For presisjonskalking og VRA-sprøyting har vi gjort beregninger av klimagassutslipp for flere alternative scenarier, og vi har bare tatt med verdien fra det mest realistiske av dem når vi har summert alle tallene nasjonalt (Tabell 19, høyre kolonne).

Tabell 19. Anslått årlig gevinst av ulike presisjonsteknikker i form av reduserte klimagassutslipp per dekar, bruk og samlet for det arealet på landsnivå med hhv. fulldyrka eng, bygg, vårhvete og poteter som antas å være representativt ut fra forutsetningene for beregningene

Teknikk	Per daa kg CO2e/ daa	Per enhet kg CO2e/ enhet	Areal i alt 1 000 daa	Samlet effekt tonn CO2e	Antatt effekt tonn CO2e
<i>Fulldyrka eng, 400 daa</i>					
Visuell sporfølger	1.4	568	1 890	2 646	2 646
Automatisk rattmotor	2.8	1136	1 890	5 292	
Presisjonskalk., middels	8.1	3238	1 420	11 502	11 502
Presisjonskalking, høy	15.8	6338	1 420	22 436	
<i>Bygg, 400 daa</i>					
Visuell sporfølger	0.2	69	540	108	
Presisjonskalk., middels	2.4	962	400	960	
Presisjonskalking, høy	4.8	1924	400	1 920	
Presisjongjødsling	8.5	3411	400	3 400	
VRA-sprøyting, 90%	0.1	47	940	94	
VRA-sprøyting, 75%	0.3	119	940	282	
VRA-sprøyting, 50%	0.6	237	940	564	
VRA-sprøyting, 25%	0.9	356	940	846	
VRA-sprøyting, 10%	1.1	427	940	1 034	
<i>Hvete, 400 daa</i>					
Visuell sporfølger	0.2	77	180	36	
Presisjonskalk., middels	4.5	1 792	140	630	
Presisjonskalking, høy	9	3 584	140	1 260	
Presisjongjødsling	12.7	5 094	140	1 778	
VRA-sprøyting, 90%	0.1	47	320	32	
VRA-sprøyting, 75%	0.3	119	320	96	
VRA-sprøyting, 50%	0.6	237	320	192	
VRA-sprøyting, 25%	0.9	356	320	288	
VRA-sprøyting, 10%	1.1	427	320	352	
<i>Korn, alle arter</i>					
Visuell sporfølger	0.2		1 110		222
Presisjonskalking, middels	3.45		830		2 864
Presisjongjødsling	10.6		830		8 798
VRA-sprøyting, 50%	0.6		1 950		1 170
<i>Poteter, 200 daa</i>					
Presisjongjødsling	10.2	2 047	100	1 023	1 023
Sum					28 225

Den samlede, klimarelaterte nytteverdien av presisjonsjordbruk tilsvarte i underkant av 30 000 tonn CO₂-ekvivalenter i sparte utslipp per år. Presisjonskalking til eng hadde det største potensialet for å redusere disse utslippene av alle kombinasjonene av vekst x teknikk, etterfulgt av presisjonsgjødning til korn. Potensialet for presisjonsgjødning ble estimert til å være ca. 8 800 tonn CO₂-ekvivalenter, og teknologien ser dermed ut til å ha et vesentlig større reduksjonspotensial i dag, enn det vi beregnet for 10 år siden (548 tonn; Øygarden et al. 2009).

Den samlede miljømessige nytteverdien i form av redusert nitrattvasking til vassdrag og fjorder er kun beregnet for presisjonsgjødning til korn, siden de potensielle effektene av de andre teknikkene på N-utvasking er antatt å være så marginale at vi har utelatt dem fra beregningene (Tabell 20).

Tabell 20. Anslått årlig gevinst av presisjonsgjødning i form av redusert utvasking av NO₃-N per dekar, bruk og samlet for det arealet på landsnivå med hhv. bygg, vårhvete og poteter som antas å være

Vekst	Effekt per daa kg NO ₃ -N/daa	Effekt per enhet kg NO ₃ -N/enhet	Areal i alt 1 000 daa	Samlet effekt tonn NO ₃ -N	Antatt effekt tonn NO ₃ -N
Bygg	0,3	110	400	110	
Vårhvete	0,6	220	140	77	
Korn	0,4		833		344
Potet	0,33	66	100		33
Sum					377

Samlet bidro presisjonsgjødning av bygg, vårhvete og potet til en årlig reduksjon i nitrattvaskingen fra jordbruket med 377 tonn NO₃-N. Målinger i nedbørsfelt fra kornomrørte områder (JOVÅ-programmet; Beckmann et al. 2008) og mer detaljerte avrenningsstudier (Korsaeth 2008, 2012) viser at en normalt kan forvente årlig N-avrenning på mellom 14 og 40 kg N/ha. Hvis vi antar en medianverdi på 3 kg N/daa, så tilsvarer potensialet for reduksjon av N-tap vannveien ved bruk av presisjonsgjødning dermed ca 15 % av normalt N-utvaskingstap fra kornarealene med antatt presisjonsgjødning (5 % av alt kornareal).

Presisjonsprøyting av ugras reduserte mengden toksiske utslipp tilsvarende om lag 500 tonn 1,4 DB-ekvivalenter årlig. Dette omfattet bl.a. en antatt samlet reduksjon i bruken av glyfosat med 90 tonn, noe som utgjør omtrent 30% av det årlige forbruket av dette herbicidet.

3.4.2 Samlet økonomisk nytteverdi

Når vi har oppsummert økonomisk nytteverdi, har vi valgt å kun ta med teknikker som er lønnsomme; det vil si at de har gitt positiv netto nåverdi over levetiden - eller over kalkingsintervallet for presisjonskalking (Tabell 21). Økonomisk nytteverdi er beregnet per dekar, på bruksnivå og vi har dessuten oppskalert tallene til nasjonalt nivå med utgangspunkt i tilsvarende arealtall for miljøeffekter. Der vi har beregnet økonomisk verdi for ulike scenarier med basis i samme teknikk, har vi valgt det vi mener er mest realistisk som grunnlag for å summere antatt samlet effekt på nasjonalt nivå (Tabell 21, høyre kolonne).

Tabell 21. Anslått årlig økonomisk gevinst av ulike presisjonsteknikker per dekar, per bruk og samlet for det arealet som på landsnivå med hhv. fulldyrka eng, bygg, vårhvete til mat, samla kornareal og poteter som antas representativt ut fra forutsetningene for beregningene.

Teknikk	Årlig effekt kr/daa	Årlig effekt kr/enhet	Areal i alt 1 000 daa	Samla effekt Mill. kr	Antatt effekt Mill. kr
<i>Fulldyrka eng, 400 daa</i>					
Visuell sporfølger	8	3 200	1 890	15,1	15
Automatisk rattmotor	3	1 200	1 890	5,7	
Presisjonskalk., middels	8	3 200	1 420	11,4	11
Presisjonskalking, høy	83	33 200	1 420	117,9	
<i>Bygg, 400 daa</i>					
Visuell sporfølger	1	400	540	0,5	
Presisjonskalk., middels	5,5	2 200	400	2,2	
Presisjonskalking, høy	16	6 400	400	6,4	
Presisjongjødsling	15	6 000	400	6,0	
VRA-sprøyting, 90%	1	400	940	0,9	
VRA-sprøyting, 75%	5	2 000	940	4,7	
VRA-sprøyting, 50%	13	5 200	940	12,2	
VRA-sprøyting, 25%	21	8 400	940	19,7	
VRA-sprøyting, 10%	26	10 400	940	24,4	
<i>Hvete, 400 daa</i>					
Visuell sporfølger	1	400	180	0,2	
Presisjonskalk., middels	11	4 400	140	1,5	
Presisjonskalking, høy	26	10 400	140	3,6	
Presisjongjødsling	30	12 000	140	4,2	
VRA-sprøyting, 90%	1,5	600	320	0,5	
VRA-sprøyting, 75%	6,5	2 600	320	2,1	
VRA-sprøyting, 50%	15	6 000	320	4,8	
VRA-sprøyting, 25%	23,5	9 400	320	7,5	
VRA-sprøyting, 10%	29	11 600	320	9,3	
<i>Korn, alle arter</i>					
Visuell sporfølger	1,0	400	1 110	1,1	1
Presisjonskalk., middels	6,1	2 420	830	5,0	5
Presisjongjødsling	16,5	6 600	840	13,9	14
VRA-sprøyting, 50%	13,2	5 280	1 950	25,7	26
<i>Poteter, 200 daa</i>					
Autostyring	469,5	93 900	100	47,0	47
Sum					119

Totalt utgjør gjennomsnittlig nåverdi ved bruk av styreindikator eller visuell sporfølger kr 3 200 for et bruk på 400 daa fulldyrka eng og for alt engarealet i landet der teknologien er aktuell blir det i størrelsesorden 15 millioner kroner. Effekten av presisjonskalking i eng antas å være like stor dvs. utgjøre kr 8 per dekar og kr 3 200 for et bruk på 400 dekar. Men arealet der presisjonskalking er aktuelt anses noe mindre enn arealet for presisjonsstyring slik at potensiell effekt totalt blir 11 mill. kroner for presisjonskalking til eng.

Gevinsten med investering i styreassistanse antas å utgjøre ca. 1 kr per daa eller kr 400 kroner ved 400 dekar hvete eller bygg og ca. 1 million kr for landets totale kornareal. Forskjellen mellom hvete og bygg er små. Alternativa med automatisk rattmotor og autostyring er ikke lønnsomme ved korndyrking i dette omfang. Rattmotor er imidlertid lønnsomt med større areal. Hydraulisk autostyring er ikke lønnsomt ved korndyrking alene. Men hvis man driver korndyrkinga i kombinasjon med potetdyrking vil man selvfølgelig benytte samme utstyr i alle vekster og hydraulisk autostyring er lønnsomt ved potetdyrking. Presisjonskalking gir en årlig avkastning på kr 2 200 og kr 6 400 for et bruk med 400 daa bygg. For 400 daa hvete er effekten anslått til kr 4 400 og kr 10 400. Samla anslås effekten av presisjonskalking til 5 millioner kroner for alle kornarter.

Det er stor usikkerhet knytt til hvor mye sprøytevæske man kan spare ved presisjonsprøyting i korn. Av de 5 anslaga som er utarbeida har vi antatt at man i gjennomsnitt bare trenger å sprøyte 50 % av arealet ved presisjonsprøyting (kap. 2.5.1), noe som gir en innsparing på ca. kr 13 per daa for bygg og kr 15 per daa for hvete. På bruksnivå blir effekten 5 200 kroner for bygg og 6 000 kroner for hvete med 400 daa. Samla effekt av VRA-presisjonsprøyting blir 26 millioner kroner. Når det gjelder bruk av N-sensor til korn så er effekten beregna til kr 15 per daa for bygg og kr 30 per daa for hvete, som utgjør henholdsvis kr 6 000 og kr 12 000 for 400 dekar. På grunn av større areal vil effekten alt i alt være størst i bygg. Samla er gevinsten ved presisjonsgjødsling i korn beregna til 14 millioner kroner, for hvete alene anslås den til ca. 4 millioner kroner.

For et bruk med 200 daa poteter er gevinsten anslått til kr 58 800 for rattmotor og kr 93 900 for hydraulisk autostyring som er de undersøkte teknologier. Totalt er effekten beregna til 47 millioner kroner ved hydraulisk autostyring i potet. Med kvalitetsforbedrende effekter av mer presis potetsetting blir effektene noe høyere, anslagsvis 49 millioner kroner.

Samlet er effektene anslått til ca. 26 millioner kroner for eng, 46 millioner for korn og 47 millioner kroner for poteter. I alt blir effektene for disse vekster 119 millioner kroner. I tillegg kommer effekter for resterende vekster og for andre teknikker og på tilleggsarealer samt kvalitetseffekter som følge av presisjonsjordbruk som antydnet for potet. Vi anslår dette til å utgjøre et tillegg på 25 % og den totale nytteverdi for norsk jordbruk kan med dette tillegget avrundes til 150 millioner kroner.

I en dansk undersøking (Pedersen og Pedersen 2018) er anslått en tilsvarende verdi for dansk landbruk på kr 255 millioner danske kroner tilsvarende 325 millioner norske kroner i 2018. De legger til grunn at teknikken er aktuell for ca. 72 prosent av det dyrkede areal i Danmark og antyder en gjennomsnittlig verdi på 134 DKK per ha som svarer til ca. 17 norske kroner per dekar. Med høgt potensial (460 DKK/ha) og 100 % implementering kommer de til 1 210 millioner DKK samlet for dansk landbruk. Verdi av miljøeffekter kommer i tillegg både for de norske og danske beregningene.

4 Avsluttende kommentarer

I våre vurderinger av miljømessige og økonomiske gevinster ved å implementere presisjonsjordbruk i det norske jordbruket har vi lagt til grunn at prinsippene og teknologien ikke er aktuell å bruke på alt fulldyrka areal i landet. Noe areal faller ut fordi vi bare har sett på de fire største planteproduksjonene. Videre har vi antatt at en del av jorda er så homogen innen skifter at det ikke er aktuelt med stedsspesifikk behandling, og at noen skifter er så små eller har en topografi som gjør de uegnet for presisjonsjordbruk. Til slutt faller noe areal også ut fordi våre valgte typebruk ikke dekker alle varianter av driftsformene som praktiseres, for eksempel når det gjelder gjødslingsregime. Det samlede potensialet i denne ikke-inkluderte delen har vi helt grovt satt lik 25 % av den samlede effekten som vi har inkludert i beregningene. Om denne prosentatsen burde vært større eller mindre, kan naturligvis diskuteres. Uansett om vi velger å sette den til 10 eller 40 %, så mener vi at utredningen har bragt fram det sannsynlige potensialet for hva presisjonsjordbruk kan bidra med når det gjelder å redusere miljøfotavtrykket fra jordbruket. Sett opp mot at jordbrukets utslipp er på nærmere 4,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (2014-nivå), blir bidraget uansett lite. De undersøkte applikasjonene bidrar med en reduksjon i størrelsesorden 1 %. Det er imidlertid et poeng at denne reduksjonen er lønnsom for bonden. Presisjonsjordbruk er altså et eksempel på en utvikling der økonomi og miljø drar i samme retning.

Innledningsvis ekskluderte vi også noen teknikker/metoder som ikke er ferdig utviklet eller som ikke kan dokumenteres at fungerer etter intensjonen under norske forhold. Det skjer imidlertid mye pågående FoUI-arbeid på dette området både i forskningsmiljøene og i industrien, og det er grunn til å forvente at potensialet for presisjonsjordbruk vil kunne bli vesentlig større framover. Her er det spesielt grunn til å nevne presisjonsgjødsling til eng. I engsystemene er det normalt mye næringsstoff i omløp, og det er sannsynligvis vesentlige miljøgevinster å hente gjennom en optimalisering av nitrogengjødslinga. Siden dette er den arealmessig viktigste veksten, vil relativt små justeringer av dagens praksis potensielt kunne gi store utslag på nasjonalt nivå.

Litteratur

- Bakken, A.K., Daugstad, K., Johansen, A., Hjelkrem, A.G.R., Fystro, G., Strømman, A.H., Korsæth, A. 2017. Environmental impacts along intensity gradients in Norwegian dairy production as evaluated by life cycle assessments. *Agricultural Systems*, 158: 50-60.
- Basso, B., Dumont, B., Cammarano, D., Pezzuolo, A., Marinello, F., Sartori, L. 2016. Environmental and economic benefits of variable rate nitrogen fertilization in a nitrate vulnerable zone, *Science of The Total Environment*, 545: 227-235.
- Bates, J., Brophy, N., Harfoot, M., Webb, J. 2009. Sectoral Emission Reduction Potentials and Economic Costs for Climate Change (SERPEC-CC). In *Agriculture: Methane and Nitrous oxide*; Ecofys Netherlands: Utrecht, The Netherlands, 2009.
- Bechmann, M., Deelstra, J., Stålnacke, P., Eggestad, H.O., Øygarden, L., Pengerud, A. 2008. Monitoring catchment scale agricultural pollution in Norway: policy instruments, implementation of mitigation methods and trends in nutrient and sediment losses. *Environmental Science and Policy*, 11: 102–114.
- Bechmann, M., Greipsland, I., Riley, H., Eggestad, H.O., 2012. Nitrogen losses from agricultural areas. A fraction of applied fertilizer and manure (FracLEACH). *Bioforsk Report*, vol. 7, No. 50, 2012, 30 pp.
- Berge, T.W., Goldberg, S., Kaspersen, K., Netland, J. 2012. Towards machine vision based site-specific weed management in cereals. *Computers and Electronics in Agriculture* 81:79-86.
- Berge, TW, Utstumo, T, Urdal, F & Tørresen, KS. 2016. Tools and technologies for reduced herbicide use in cereals. Oral presentation at the 2nd joint NJF - Agromek- EurAgEng joint seminar, 28-29 November 2016, Herning, Denmark
- Berntsen J., Thomsen A., Schelde K., Hansen O.M., Knudsen L., Broge N., Hougaard H., Hørfarter R. 2006. Algorithms for sensor-based redistribution of nitrogen fertiliser in winter wheat. *Precision Agriculture* 7, 65–83.
- Berry, P., Holmes, H., Blacker, C. 2017. Development of methods for remotely sensing grass growth to enable precision application of nitrogen fertilizer. *Advances in Animal Biosciences*, 8(2), 758-763.
- Bilalis, D., Efthimiadis, P. and Karagiannis, G. 2001. The Phytotoxicity of various graminicides in Durum wheat in Greece. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 187: 121–126.
- Delgado, J.A., Khosla, R., Bausch, W.C., Westfall, D.G., Inman, D.J. 2005. Nitrogen fertilizer management based on site-specific management zones reduces potential for nitrate leaching. *Journal of Soil and Water Conservation* 60:402-410.
- Feiffer A., Jasper J., Leithold P., Feiffer P. 2007. Effects of N-Sensor based variable rate. N fertilization on combine harvest. In: Stafford J, V.: *Precision agriculture'07, Proceedings of the Conference on Precision Agriculture*, Skiathos, Greece.
- Fystro, G. and Bakken, A.K. 2005. Soil reaction, yields and herbage element content as affected by lime applied on established leys in a multi-site field trial. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 143: 407-420.
- Gasso, V., Sørensen, C.A.G., Oudshoorn, F.W., Green O. 2013. Controlled traffic farming: A review of the environmental impacts, *European Journal of Agronomy*, 48: 66-73.
- Geipel, J., Korsæth, A. 2017. Hyperspectral Aerial Imaging for Grassland Yield Estimation *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA) 2017*, (2017), 8: 770–775.

- Gerhards R. and Oebel H. 2006 Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed Research* 46, 185–193.
- Goffart, J.P., Olivier, M., Frankinet, M. 2008. Potato Crop Nitrogen Status Assessment to Improve N Fertilization Management and Efficiency: Past–Present–Future. *Potato Research* 51:355–383.
- Hansen, S., Bernard, M., Rochette, P., Whalen, J.K., Dörsch, P., 2014. Nitrous oxide emissions from a fertile grassland in Western Norway following the application of inorganic and organic fertilizers. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 98, 71–85.
- Henriksen, T.M., Korsaaeth, A. 2013. Inventory of Norwegian grain production. *Bioforsk Rapport*, Vol. 8 Nr. 69, pp. 52.
- Hunt, N.D., Hill, J.D., Liebman, M., 2017. Reducing freshwater toxicity while maintaining weed control, profits, and productivity: effects of increased crop rotation diversity and reduced herbicide usage. *Environ. Sci. Technol.* 51 (3), 1707–1717.
- IPCC (2007) Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Synthesis report
- Johansen, A., Daugstad, K., Bakken, A.K. and Fystro, G. 2013. Inventories as basis for life cycle assessments of milk and meat produced at Norwegian dairy farms. Design and data for three modelled farms with medium production intensity. *Bioforsk Report* Vol. 8 Nr. 73. 2013. 46 pp.
- Jørgensen JR, Jørgensen RN (2007) Uniformity of wheat yield and quality using sensor assisted application of nitrogen. *Precision Agriculture* 8, 63–73.
- Kempenaar, C., Been, T., Booiij, J., van Evert, F., Michielsen, J.-M., Kocks, C. 2018. Advances in Variable Rate Technology Application in Potato in The Netherlands. *Potato Research* (2017) 60:295–305
- Knezevic, S.Z., Datta, A., Scott, J., Charvat, L.D. 2010. Tolerance of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to pre-emergence and post-emergence application of saflufenacil. *Crop Protection*, 29: 148–152.
- Kömives, T. 2016. Report on the feasibility and benefits of spot spraying, *Julius-Kühn-Archiv* 2016 No.455 pp.162-171. doi:10.5073/jka.2016.455.35.
- Korsaaeth, A. and Eltun, R. 2000. Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between balance calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 79: 199-214.
- Korsaaeth, A., Henriksen, T.M., Roer A.-G. & Hammer Strømman, A. 2014. Effects of regional variation in climate and SOC decay on global warming potential and eutrophication attributable to cereal production in Norway. *Agricultural Systems* 127: 9-18.
- Korsaaeth, A., Riley, H. 2006. Estimation of economic and environmental potentials of variable rate versus uniform N fertilizer application to spring barley on morainic soils in SE Norway. *Precision Agriculture* 7: 265-279.
- Korsaaeth, A. 2008. Relations between nitrogen leaching and food productivity in organic and conventional cropping systems in a long-term field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127: 177-188.
- Korsaaeth, A. 2012. N, P and K budgets and changes in selected topsoil nutrients over 10 years in a long-term experiment with conventional and organic crop rotations. *Applied and Environmental Soil Science* (published on internet, doi:10.1155/2012/539582).

- Kuhn, 2019. Nettside, nedlastet mars 2019.
[https://www.kuhn.co.uk/internet/prospectus.nsf/0/2F94923FF8B56EA8C1257FE7004EA697/\\$File/920568_GB.pdf](https://www.kuhn.co.uk/internet/prospectus.nsf/0/2F94923FF8B56EA8C1257FE7004EA697/$File/920568_GB.pdf).
- Liu, B., Mørkved, P.T., Frostegård, Å., Bakken, L.R., 2010. Denitrification gene pools, transcription and kinetics of NO, N₂O and N₂ production as affected by soil pH. *FEMS Microbiol. Ecol.* 72, 407e417.
- Maier, N. A., McLaughlin, M. J., Heap, M., Butt, M., Smart, M. K., and Williams, C. M. J. 1997. Effect of current-season application of calcitic lime on soil pH, yield and cadmium concentration in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 47: 29–40.
- Mayfield, A.H., Trengove, S.P., 2009. Grain yield and protein responses in wheat using the N-Sensor for variable rate N application. *Crop Pasture Sci.* 60, 818–823.
- McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., 2005. Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 6: 7–23.
- Mørkved, P.T., Dörsch, P., Bakken, L.R., 2007. The N₂O product ratio of nitrification and its dependence on long-term changes in soil pH. *Soil Biol. Biochem.* 39: 2048–2057.
- Nadeem, S., Børresen, T., Dörsch, P. 2014. Effect of fertilization rate and ploughing time on nitrous oxide emissions in a long-term cereal trail in south east Norway. *Biology and fertility of soils*, 51(3), 353–365.
- National Energy Foundation 2017. <http://www.nef.org/greencompany/co2calculator.htm>.
- Nesheim, L. 2014. Kalking til gras og korn. *Bioforsk TEMA* nr. 23, 8s.
- Parent, S.-É., Leblanc, M., Parent, A.C., Coulibali, Z., and Parent, L. E. 2017. Site-specific multilevel modeling of potato response to nitrogen fertilization. *Front. Environ. Sci.*, doi: 10.3389/fenvs.2017.00081
- Pedersen, M. F., og Pedersen, S. M., 2018. Ervervsøkonomiske gevinster ved anvendelse af præsisjonslandbrug. 49 s., IFRO Udredning, Nr. 2018/02
- Raatz, L., Hills, M., Mckenzie, R., Yang, R., Topinka, K., & Hall, L. (2011). Tolerance of Spring Triticale (× *Triticosecale* Wittmack) to Four Wheat Herbicides. *Weed Technology*, 25(1), 84–89. doi:10.1614/WT-D-10-00048.1
- Reichardt, M., Jürgens, C. 2009. Adoption and future perspective of precision farming in Germany: Results of several surveys among different agricultural target groups. *Precision Agriculture*, 10, 73–94.
- Rivedal, S., Wæraas Aune, A. 2019. Betre metodikk for estimering av lystgassutslepp frå dyrka mark brukt i nasjonal rapportering. *NIBIO Rapport*, Vol. 5, nr. 5, pp. 29.
- Roberts, D.F., Kitchen, N.R., Scharf, P.C. & Sudduth, K.A. 2001. Will Variable-Rate Nitrogen Fertilization Using Corn Canopy Reflectance Sensing Deliver Environmental Benefits? *Agronomy Journal* 102: 85–95.
- Roer, A.-G., Korsæth, A., Henriksen, T.M., Michelsen, O., Hammer Strømman, A. 2012. Life Cycle Assessment of grain production in Central Southeast Norway. *Agricultural Systems* 111: 75–84.
- Roer, A.-G., Johansen, A., Bakken, A.K., Daugstad, K., Fystro, G., Strømman, A.H., 2013. Environmental impacts of combined milk and meat production in Norway according to a life cycle assessment with expanded system boundaries. *Livest. Sci.* 155, 384–396.
- Russenes, A. L., Korsæth, A., Bakken, L. R., Dörsch, P. 2016. Spatial variation in soil pH controls off-season N₂O emission in an agricultural soil. *Soil Biology & Biochemistry* 99: 36–46.

- Rydahl, P., Bojer, OM, Jørgensen, R N et al. 2018. Spatial variability of optimized herbicide mixtures and dosages. In: Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture. Montreal, Canada, June 24-27 2018.
- Schimmelpfennig, D., 2016. Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture, ERR-217, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, October 2016.
- Shrestha, R.K., Cooperband, L.R., MacGuidwin, A.E. 2010. Strategies to Reduce Nitrate Leaching into Groundwater in Potato Grown in Sandy Soils: Case Study from North Central USA. *Am. J. Pot Res* 87:229–244.
- Silva, C., de Moraes, M., Molin, J. 2011. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. *Precision Agriculture* 12: 67–81.
- Singh Samunder, Punia S. S. 2007. Sensitivity of Barley (*Hordeum vulgare*) to Herbicides of Different Modes of Action. *Indian Journal of Weed Science* 39:205-210.
- SSB 2015. Rognstad, O., Løvberget, A. I. og Steinset, T.A. (2016). Landbruket i Norge 2015 Jordbruk – Skogbruk – Jakt. Statistisk sentralbyrå Statistics Norway. Oslo–Kongsvinger. ISBN 978-82-537-9426-6 (trykt) ISBN 978-82-537-9427-3 (elektronisk).
- SSB 2017. Statistikk fra nettsiden, <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri?de=Jordbruk>.
- Söderström, M., Nissen, K., Gustafsson, K, Börjesson, T., Jonsson, A. & Wijkmark, L. 2004. Swedish farmers' experiences of the Yara N-sensor 1998-2003. In: Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture and other Precision Resources Management, July 2004, MN, USA.
- Tørresen, K., Brandsæter, L.O., Netland, J. 2018. Alternativer til glyfosat i korn og grasmark. NIBIO Rapport, 4(79) 2018. 72 s.
- Van Evert FK, Booij R, Jukema JN, Ten Berge HFM, Uenk D, Meurs EJJ, Van Geel WCA, Wijnholds KH, Slabbekoorn H. 2012. Using crop reflectance to determine sidedress N rate in potato saves N and maintains yield. *Eur J Agron* 43:58–67.
- Whelan, B.M., McBratney, A.B., 2003. Definition and Interpretation of potential management zones in Australia, In: Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference, Geelong, Victoria, Feb. 2-6 2003
- Wiersholm, T.M. 2019. Knusende seier til John Deere. Publisert på nett, 02.01.2019, <https://www.traktor.no/traktorstatistikk/knusende-seier-til-john-deere/>.
- Wu, J.D., D. Wang, C.J. Rosen, and M.E. Bauer. 2007. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. *Field Crop Research* 101: 96–103.
- Øygarden, L., Nesheim, L., Dörsch, P., Fystro, G., Hansen, S., Hauge, A. , Korsæth, A., Krokann, K., Stornes, O.K. 2009. Klimatiltak i jordbruket – mindre lystgassutslipp gjennom mindre N-tilførsel til jordbruksareal og optimalisering av dyrkingsforhold. *Bioforsk Rapport Vol. 4 Nr. 175, 83 s.*

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.