

Arealbruksscenarier for norsk landbruk i et endret klima; mulige konsekvenser for vannkvalitet

Av Inga Greipsland, Eva Skarbøvik og Sigrun H. Kværnø

Inga Greipsland, Eva Skarbøvik og Sigrun H. Kværnø er alle forskere ved NIBIO, Norsk institutt for bioøkonomi.

Abstract

Land use scenarios for agricultural areas in Norway due to climate change; impacts on the water quality.

Eutrophication is a challenge in several agricultural catchments in Norway, and this problem may increase with climate change (increased precipitation and temperature), due to intensified soil erosion, increased runoff of nutrients, and higher water temperatures. However, climate change can also affect the land use in agricultural areas. Such land use changes would depend on the choices the farmers will make, based on the new climatic conditions, as well as political and economic trends. In order to obtain a better knowledge on future land use patterns, we have carried out an investigation in the three regions of Norway with relatively high proportion of agricultural land; the South-eastern part (County of Akershus), South-western part (County of Rogaland), and Mid-Norway (Counties of South and North Trøndelag). Our focus has been to assess probable changes in land use based on climatic drivers. The method used has comprised a series of workshops with selected stakeholders and experts in the three regions. The results are a set of land use scenarios for each region, which will have different impacts on the water quality. These scenarios can be used for more realistic modelling of the water quality in a changed climate in agricultural parts of Norway.

Sammendrag

Eutrofiering er en utfordring i flere norske jordbruksvassdrag. Klimaendringer med økt nedbør og høyere temperatur tilsier at dette problemet kan øke, bl.a. pga. større jorderosjon, økt avrenning av næringsstoffer og høyere vanntemperatur. Men klimaendringer kan også medføre arealbruksendringer i jordbruket. Slike endringer vil i stor grad avhenge av de valgene bønder vil ta ulike steder i Norge, på bakgrunn av klimaet i hver region, samt politiske og økonomiske trender. For å få et bedre innblikk i mulige valg av arealbruk i fremtidens jordbrukslandskap, har vi utført en undersøkelse i de tre regionene i Norge med mest jordbruk (Østlandet ved Akershus fylke, Sørvestlandet ved Rogaland fylke og Midt-Norge ved Trøndelagsfylkene). Metoden har bestått i å gjennomføre like arbeidsmøter med utvalgte brukergrupper og eksperter i de tre regionene. Fokus har vært å vurdere valg av arealbruk som følge av et endret klima. Resultatet er et sett med arealbruksscenarier for hver region, som kan ha ulike effekter på vannkvaliteten. Disse scenariene kan benyttes til å utføre mer realistisk modellering av vannkvaliteten i det norske jordbrukslandskapet i et fremtidig klima.

Innledning

Eutrofiering er en viktig årsak til at flere norske vannforekomster fremdeles ikke har nådd vann-

forskriftens krav om god vannkvalitet. I områder med intensivt jordbruk viser de nyeste overvåkingsrapportene at det er høye næringsstoffverdier både i bekker, elver og innsjøer (Hauken m.fl. 2016; Greipsland 2015; Haande m.fl. 2014; Skarbøvik m.fl. 2016). Tidligere studier gjort på effekter av klimaendringer tilsier økt erosjon og næringsstoffavrenning grunnet økt og mer intens nedbør, samtidig som innsjøer kan bli mer sårbare for oppblomstring av blågrønnalger pga. økt temperatur (Deelstra m.fl., 2011; Jeppesen m.fl. 2009; Kosten m.fl. 2012). Men klimaendring kan også ha indirekte påvirkning på vannkvalitet hvis også arealbruken endrer seg. Særlig i jordbruksområder kan det tenkes at klimaet kan påvirke både valg av vekster og driftspraksis. Arealbruk er en viktig forklaringsvariabel for vannkvalitet, og ifølge Slaymaker (2001) er det sannsynlig at noen typer arealbruksendringer vil ha større innvirkning på erosjon enn klimaendringer.

Hensikten med denne studien har vært å få et bedre innblikk i mulige valg norske bønder vil ta som følge av et endret klima, og basert på dette utvikle mer realistiske arealbruksscenarioer for tre regioner i Norge med høy andel jordbruksvirksomhet; Østlandet ved Akershus fylke; Sørvestlandet ved Rogaland fylke, og Midt-Norge ved Trøndelagsfylkene. Scenarier kan beskrives som en (mer eller mindre) sannsynlig, men ofte forenklet beskrivelse av hvordan fremtiden kan utvikle seg, basert på et logisk sett av antagelser (Kirby 2009). Scenarier kan være kvalitative eller kvantitative, eller en kombinasjon av disse. De kvalitative legges ofte til grunn for de kvantitative, for eksempel som følge av behovet for å modellere scenariene med matematiske modeller (f.eks. Döll m.fl. 2012). Utvikling av scenarier er en prosess med flere trinn som fortrinnsvis kan utføres gjennom diskusjoner mellom forskere, brukere og forvaltere (Metzger 2010, Döll m.fl. 2012). I vårt arbeid har det mest sentrale vært bøndernes sannsynlige valg som følge av klimaendringer, men det er også tatt høyde for at økonomiske og politiske forhold vil påvirke bøndernes valg. Tidligere scenarier for fremtidig landbruksproduksjon har hovedsakelig fokusert på produksjon, agronomi eller

bedriftsøkonomi, og ikke spesifikt vurdert endringer som har betydning for vannkvalitet, eksempler inkluderer Vik m.fl.(in prep.), Brastad m.fl. (2006), og Mittenzwei og Nersten (2004).

Resultatene fra denne studien vil bli brukt til modellering av vannkvalitet, med utgangspunkt i godt overvåkede jordbruksbekker i de tre regionene (JOVA-programmet; www.nibio.no/jova; se f.eks. Bechmann og Deelstra, 2013).

Metode

Scenariet utviklingen har i hovedsak fulgt foreslåtte prosedyrer av Rounsevell & Metzger (2010) og Döll m.fl. (2012). Vi valgte tre regioner i Norge, alle med høy andel jordbruksvirksomhet: Lavlandet på Østlandet med gode forhold for kornproduksjon; Sørvestlandet med intensivt husdyrhold; og Midt-Norge med både kornproduksjon og husdyrhold. Klimascenarier for rundt midten av det 21. århundret ble valgt som utgangspunkt for diskusjon. I brukermøtene på Østlandet og Sørvestlandet ble det tatt utgangspunkt i Hansen-Bauer m.fl. (2009), mens den oppdaterte versjonen Hansen-Bauer m.fl. (2015) ble benyttet i Midt-Norge. Alle scenariene var basert på et middels utslippsscenario fra IPCC (RCP 4,5).

Ulike scenarier kan settes sammen til det som kalles en scenariefortelling (f.eks. Döll m.fl. 2012). I vår studie var utgangspunktet tre scenariefortellinger, avledet fra World Water Vision (Cosgrove & Rijsberman, 2000): 1) Dagens trender videreføres; 2) Produksjon – fokus på økt matproduksjon; og 3) Miljø – økt fokus på vannkvalitet. Det er ikke nødvendigvis et motsetningsforhold mellom matproduksjon og miljø, men per i dag kan økt landbasert matproduksjon enten gjøres ved å intensivere driften eller å øke jordbruksarealet (Vagstad m.fl. 2013; Arnoldussen m.fl. 2014); og begge deler kan bety en økt belastning på vannkvaliteten.

Deltakere ble valgt ut ved at nøkkelpersoner ble kontaktet, og bedt om å foreslå aktuelle personer fra forvaltning og interesseorganisasjoner. Prosjektets størrelse og ressurser tilsa at antall deltakere måtte være begrenset, noe som kan ha redusert utsagnskraften av resultatene. Imidlertid

kan fordelene med få deltakere ha vært en atmosfære hvor det følte "trygt" å komme med innspill og diskutere. Deltakerne var sentrale aktører i landbruket og vannforvaltningen, herunder bondelag, landbruksrådgivingen, fylkesmannen, landbrukskontorer i kommuner, vannregionledere, samt forskere. Enkelte av deltakerne var også utøvende bønder.

De tre arbeidsmøtene har vært gjennomført på samme måte: Først ble nedskalerte klimascenarier for regionen gjennomgått (basert på Hanssen-Bauer m.fl. 2009 og 2015; se tabell 1), fordelt som endringer i nedbør og temperatur per sesong. Også andre tema ble berørt innledningsvis i korte foredrag, bl.a. om dagens jordbruk i regionen og om potensielle virkninger av klimaendringer på jordbruket (både positive, som f.eks. muligheten til lengre vekstsesong og nye vekster; og negative, som f.eks. økning i skadegjørere). Deretter var det satt av god tid til en åpen idédugnad om hvordan klimascenariene kunne påvirke jordbruket og de valgene bøndene ville komme til å ta. Det var viktig å la ideer og diskusjon flyte fritt, men en ramme for diskusjonen ble allikevel forsøkt gjennomført, ved at klimaendringer hver sesong ble presentert og så diskutert ut fra mulige valg bonden ville ta som følge av dette. Valg som følge av klima-

endringer ble forsøkt diskutert før andre påvirkninger som politikk og økonomi ble tatt opp.

Etter idédugnden ble de tre mulige scenariefortellingene presentert, og ideene fra dugnden ble systematisert inn i de tre scenariefortellingene. Deltakerne fikk i ettertid tilsendt referat med de tre scenariefortellingene for sin region, slik at de kunne kommentere og foreslå endringer.

Resultater

Generelle antakelser om effekter av endret klima på arealbruk

På Østlandet ble det antatt at høyere temperatur og lengre vekstsesong kan gi muligheter til å dyrke nye vekster som mais, åkerbønne og soya, og at det kan bli vanligere med vekster som sås om høsten. Samtidig kan økt nedbør gi et mindre tidsvindu for jordarbeiding på våren og høsten, noe som øker risikoen for pakkeskader på jord. Særlig vil været i september være avgjørende for hvilke valg bøndene kan komme til å ta. Sentralt i diskusjonen var om behovet for drenering vil øke, og om dagens miljøltiltak for et godt vannmiljø vil være gode nok også for fremtidens klimaregime.

På Sørvestlandet ble det antatt at økt temperatur og lengre vekstsesong kan gi mulighet for

Sesong	Meteorologi	Østlandet ¹	Sørvestlandet ¹	Midt-Norge ²
Vår	Temperatur	Pluss 1,7	Pluss 1,7	Pluss 1,8
	Nedbør	Pluss 7,6 %	Pluss 11,3 %	Pluss 2 %
Sommer	Temperatur	Pluss 1,3	Pluss 1,3	Pluss 1,2
	Nedbør	Minus 2,4 %	Pluss 0,4 %	Pluss 10 %
Høst	Temperatur	Pluss 1,9	Pluss 1,7	Pluss 2,6
	Nedbør	Pluss 8,2 %	Pluss 12,2 %	Pluss 13%
Vinter	Temperatur	Pluss 2,4	Pluss 2,1	Pluss 2,1
	Nedbør	Pluss 15,8 %	Pluss 13,7 %	Ingen endring
Generelt for alle regioner	Kortere snødekke, lengre vekstsesong, nedbørintensitet øker, mulig flere fryse- og tinesykluser.			

¹ Hanssen-Bauer m.fl. 2009. Periode 2021-2050

² Hanssen-Bauer m.fl. 2015. Periode 2031-2060.

Tabell 1. Oversikt over de gjennomsnittlige klimascenarier lagt frem for møtedeltakerne i hver region, scenariene viser endring i fra 1961-1990 til 2021-2050¹ eller 1971-2000 til 2031-2050².

å dyrke andre vekster, som for eksempel mais. Det kan også bli mulig med flere innhøstinger. Vinteren er forventet å bli mildere og snøen kan forsvinne tidligere; dette kan medføre at bonden kan starte sesongen tidligere, men kan også bety mer vinterskader i korn og grønnsaker. Deltakerne trakk frem at selv om vekstsesongen kan øke med 1-2 måneder, vil nedbørsmønstre og lysforhold kunne bli begrensende. Et viktig spørsmål er om det kan utvikles nye plantesorter som kan utnytte en lang vekstsesong (temperatur) med lite lys. Det ble også antatt at husdyrhold basert på importert kraftfôr fortsatt vil være viktig i regionen, med mindre forbrukerønsker, globale forhold eller miljøhensyn endrer denne trenden. Det ble opplyst i møtet at det er et mål for regionen å øke produksjonen av frukt og grønnsaker. Håndtering av husdyrgjødsel et viktig tema, ikke minst siden en intensivering av husdyrproduksjonen vil kunne medføre at husdyrgjødsel må spres på mindre areal enn i dag. Deltakerne mente imidlertid at husdyrgjødsel også bør ses som en ressurs, og at det er store teknologiske muligheter for å utnytte dette bedre.

I Midt-Norge mente flere av deltakerne at jordbruket neppe vil endres vesentlig i de nærmeste 20 år. Høyere temperaturer vil gi lengre vekstsesong, men lysforhold begrenser potensialet med dagens plantesorter. Med en økning i temperatur kan bonden likevel velge å dyrke andre arter enn tidligere, f.eks. høsthvete, høst-rug, raigras, fôrmais og bønner; og det kan bli mulig med flere innhøstinger av grønnsaker og

gras. Hvis nedbøren faller på uheldige tidspunkt kan dette skape problemer for jordarbeiding, sprøyting, gjødsling og innhøsting. Samtidig kan ekstremepisoder med økt fare for flom og ras gi usikkerhet i næringen. Behovet for bedre drenering ble mye diskutert, og deltakerne mente at kunnskap om drenering, jordstruktur og god agronomi vil bli særlig viktig fremover.

Basert på den generelle diskusjonen er antakelsene blitt omformulert til tre scenariefortellinger:

Scenarier basert på «Dagens drift»

I scenariefortelling 1, "Dagens drift", forutsettes at dagens politiske trender fortsetter, men at landbruket må tilpasse seg et endret klima (tabell 2). Deltakerne mente at en viktig pågående trend på Østlandet er omlegging av areal med korn, grønnsaker og potet til fordel for grasdyrking og økt antall husdyr. På Sørvestlandet ble det forventet en ytterligere intensivering av husdyrhold. Under antakelsen av at dagens trender fortsetter, vil denne veksten bli basert på økt import av kraftfôr. I Midt-Norge forventet deltakerne ingen store drifts- eller arealendringer basert på dagens trender. Generelt er det i dag en landsdekkende utvikling mot større enheter og færre bønder i hele landet, og denne trenden kan antas å fortsette i alle regioner. I alle regioner ble det trukket frem at høyere temperatur og lengre vekstsesong kan gi muligheter til å dyrke vekster som mais, åkerbønne og soya i større grad, og det kan bli vanligere å dyrke høstvekster.

Østlandet	Sørvestlandet	Midt-Norge
Areal til grasproduksjon øker gradvis	Areal til grønnsaksproduksjon øker gradvis	Ingen større endringer i driftstyper
Areal med korn, grønnsaker og potet minker gradvis	Mindre areal til grovfôr (mer importert) kraftfôr	
Gradvis økning i antall husdyr	Gradvis økning i antall husdyr	
Gradvis mer høstvekster og muligheter for å dyrke mais og andre nye vekster	Gradvis mer høstvekster og muligheter for å dyrke mais og andre nye vekster	Gradvis mer høstvekster og muligheter for å dyrke mais og andre nye vekster

Tabell 2. Arealbrukscenariet "Dagens drift" i regionene Østlandet, Sørvestlandet og Midt-Norge.

Østlandet	Sørvestlandet	Midt-Norge
Areal med kornproduksjon øker	Areal med grønnsakproduksjon øker	Areal med grønnsaksproduksjon øker
Areal med mais og andre nye vekster øker	Areal brukt til mais- og hveteproduksjon blir vanligere	Økt areal brukt til produksjon av raigras, høsthvete, matkorn.
	Areal til beiting øker, med økt husdyrtall per arealenhet	Økt husdyrtetthet

Tabell 3. Arealbrukscenariet "Matproduksjon" i regionene Østlandet, Sørvestlandet og Midt-Norge.

Scenarier basert på «Økt matproduksjon»

I fortelling 2, "Matproduksjon", forutsettes det en vesentlig økning av den politiske satsingen på matproduksjon i Norge (tabell 3), for eksempel gjennom økonomiske virkemidler eller andre reguleringer. På Østlandet mente deltakerne at dette vil kunne bety økt kornproduksjon, også på vassdragsnært areal. På grunnlag av forventede klimaendringer ble det antatt at det vil kunne dyrkes høstkorn på en større andel av kornarealet, og i tillegg kan noe av kornarealet legges om til maisdyrking eller andre nye vekster. På Sørvestlandet mente deltakerne at det er muligheter for at husdyrtallet kan øke ytterligere, og det er også potensial for nydyrking og økning av beitearealet. Samtidig kan grønnsaksproduksjonen øke, og mais, hvete og raigras kan dyrkes i større grad enn i dag. I Midt-Norge mente deltakerne at antall husdyr kan øke. I tillegg kan grønnsaksproduksjonen øke, og noe av grasarealet kan omgjøres til kornproduksjon.

Scenarier basert på «Økt fokus på vannmiljø»

I fortelling 3, "Miljø", er det forutsatt at Norge satser stadig tyngre på å oppfylle kravene i vannforskriften (tabell 4). I dette scenariet fokuserer

alle tre regioner på økt innsats med allerede etablerte miljøtiltak, som renseparker/fangdammer, buffersoner, redusert jordarbeiding og næringsstofftilpasset gjødsling. På Østlandet mente enkelte deltakere at et viktig miljøtiltak som også tok vare på matproduksjonen, var en økning i husdyrhold. Dette var basert på tanken om at økt andel grasareal og en mer differensiert drift med både gras, husdyr og korn er mer positivt for vannmiljøet enn ensidig kornproduksjon. På Sørvestlandet og i Midt-Norge er redusert gjødsling og bedre håndtering av husdyrgjødsel ett av de viktigste miljøtiltakene. I tillegg ble det i alle regioner foreslått at økt etterspørsel etter biomasse kan føre til økning i skogsareal og mer intensivt skogbruk på bekostning av marginale jordbruksområder.

Diskusjon

Kvantifisering av de kvalitative scenariene

I det videre arbeidet må scenariene som er fremkommet «oversettes» til kvantitative størrelser og formuleringer som kan brukes som inputdata i modeller. Mallampalli m.fl. (2016) har publisert en kunnskapsstatus over metoder som kan brukes til å kvantifisere arealbrukscenarier. Metodene spenner fra «formelle» metoder som

Østlandet	Sørvestlandet	Midt-Norge
Mer differensiert jordbruk, husdyrhold øker, andel grasareal øker på bekostning av korn	Gjødsling etter behov	Gjødsling etter behov
Større andel skog	Større andel skog	Større andel skog
Økt fokus på miljøtiltak	Økt fokus på miljøtiltak	Økt fokus på miljøtiltak

Tabell 4. Arealbrukscenariet "Miljø" i regionene Østlandet, Sørvestlandet og Midt-Norge.

fuzzy logic og bayesianske nettverk, til litteraturgjennomgang, rollespill og intervjuer. Kreativ utnyttelse av slike metoder kan være en praktisk tilnærming til mange reelle vurderinger av arealbruksendringer i fremtiden.

Hittil i denne studien har vi vurdert hva slags kvantitative arealbruksscenarioer som kan være input i de modellene som ofte er i bruk for å predikere hydrologi og vannkvalitet. Disse modellene omfatter:

Agricat2 (Kværnø m.fl., 2014), som er en enkel empirisk modell designet for å sammenlikne effekter av tiltak i jordbruket (endret jordarbeiding, vekstfordeling, buffersoner, fangdammer og redusert gjødsling i form av redusert fosforstatus i jord) på fosfortap. Modellen opereres på regionalt nivå og med en tidsoppløsning som gjennomsnitt over flere år.

PESERA (Kirkby m.fl., 2008), som er en fysisk basert erosjonsmodell utviklet i England, og som kan brukes til å simulere interaksjoner mellom klima og arealbruk. Som for Agricat2 opereres den på regionalt nivå og med en tidsoppløsning som gjennomsnitt over flere år.

INCA (Wade m.fl., 2002), som er en gruppe prosessbaserte, semi-distribuerte og dynamiske modeller utviklet i England, og som kan modellere sediment- og næringsstofftap (nitrogen og fosfor) på døgnbasis på nedbørfeltnivå.

LISEM (De Roo m.fl., 1996), som er en episodebasert distribuert erosjonsmodell, og som benytter nedbørdata ned på minuttnivå. Modellen er godt egnet til å simulere effekter av f.eks. økt nedbørintensitet på overflateavrenning og erosjon, og kan samtidig simulere effekter av endret arealbruk.

SWAT (Neitsch m.fl., 2009), utviklet i USA, er en delvis fysisk basert, distribuert nedbørfeltmodell som kan simulere avrenning, sediment- og næringsstofftap (nitrogen og fosfor) på døgnbasis.

DRAINMOD-NII (Youssef m.fl., 2005), som er en fysisk basert, hydrologisk modell, utviklet for å simulere effekter av ulike dreneringsdesign på vannbalanse og nitrogentap i/gjennom et jordprofil på døgnbasis. Modellen er egnet til å behandle problemstillinger som jordas laglighet for jordarbeiding og kjøring, og dermed risiko for jordpakking.

Som tabell 5 viser, har disse modellene ulike muligheter til å modellere endringer i arealbruk av den typen som har fremkommet i denne studien. Alle modellene kan modellere med ulike vekster, men deretter er det variasjon i hvilke modeller som kan ta høyde for de ulike arealbruksscenarioene. Husdyrtetthet, redusert gjødsling og ulike typer miljøtiltak kan modelleres av enkelte men langt fra alle modeller. I dette er

Modeller/Arealbruksscenarioer	PESERA	Agricat2	DRAINMOD-NII	INCA	SWAT	LISEM
Ulike vekster	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Antall husdyr og gjødselhåndtering	Nei	Delvis	Ja	Ja	Ja	Nei
Redusert gjødsling	Nei	Delvis	Ja	Ja	Ja	Nei
Redusert jordarbeiding	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja	Ja
Buffersoner	Nei	Ja	Nei	Nei	Ja	Ja
Tiltak i vannveier	Nei	Delvis	Nei	Nei	Ja	Ja
Fangdam	Nei	Ja	Nei	Nei	Nei	Ja
Drenering/Hydratekniske tiltak	Nei	Nei	Ja	Nei	Ja	Nei

Tabell 5. Oversikt over ulike modellers egnethet til å predikere effekter av ulik arealbruk på vannkvalitet.

det også en erkjennelse av at hydrologiske modeller og vannkvalitetsmodeller har sine begrensninger. Ved analyse av komplekse interaksjoner kan det være nødvendig å koble disse modellene med andre typer modeller og/eller beregninger. Et eksempel er plantevekstmodeller, som kan ta høyde for plantevekst og dermed avlingsnivåer. Dette er av interesse siden plantenes opptak av fosfor og nitrogen kan påvirke risikoen for næringsstoffavrenning.

Kvalitative vurderinger av arealscenariene

Mens modellene blir verifisert og kalibrert til de respektive regionene, er det fremdeles mulig å si noe kvalitativt om mulige konsekvenser av arealbruksscenarioene. Diskusjonene i arbeidsmøtene indikerte at det særlig er tre typer klimaendringer som vil kunne påvirke arealbruken i jordbruksområder: 1) En lengre vekstsesong som påvirker valg av vekster og dermed plantedekke gjennom året; 2) Økt og mer intensiv nedbør, som bl.a. påvirker tidsvindu for jordarbeiding; og 3) varmere og mer ustabile vintre. Under har vi diskutert hvordan disse mulige endringene kan påvirke vannkvaliteten, basert på hva som er kjent ut fra litteraturen.

Med en lengre vekstsesong kan en økning av maisproduksjonen bli aktuelt flere steder i landet. Studier i Europa har vist at maisåkre har høyere erosjonsrisiko enn kornåkre (Gabriels m.fl. 2003; Lima, m.fl. 2014). Dette skyldes bl.a. større avstand mellom radene enn i kornåkre, lite vegetasjonsdekke mellom plantene og sen innhøsting (månedsskiftet september/oktober). Flere av de samme utfordringene gjelder grønnsaksproduksjon, som er en annen mulig hovedendring i valg av vekster i jordbruksarealet. Grønnsaker trenger dessuten mye næringsstoff og plantevernmidler, noe som øker risikoen for redusert vannkvalitet i tilstøtende vassdrag. Den lengre vekstsesongen kan også gjøre det mer attraktivt å dyrke høstkorn. Skøyen m. fl. (2012) og Bechmann m.fl. (2015) har vist at dyrking av høstkorn kan ha høyere risiko for tap av jord og fosfor enn både vårpløying og høstpløying til vårkorn. For disse tre mulige endringene kan det derfor konkluderes med økte utfordringer for

vannkvaliteten. Hvis bøndene derimot velger å ikke benytte seg av den lengre vekstsesongen til å dyrke inntektsgivende vekster, men heller velger å øke grasproduksjonen, kan det årssikre vegetasjonsdekket gi bedre beskyttelse mot erosjon og derfor mindre avrenning til vassdragene.

Økt og mer intensiv nedbør forventes generelt å øke erosjon og tap av jord og næringsstoffer til vassdragene (f.eks. Deelstra m.fl. 2011). Mer nedbør om våren og høsten vil gi høyere vanninnhold i jorda, og dermed høyere risiko for at arbeid på jordet må utføres under ikke-optimale forhold, altså på våt jord. Dette kan øke faren for jordpakking, som igjen øker erosjonsrisikoen, samt hvordan stoffer omsettes og transporteres i jorda (Hamza, 2004). Nedbørmengdene om høsten er dessuten avgjørende for om høstkorn vil bli en god strategi eller ikke. Såing for sent om høsten innebærer risiko for tynnere plantedekke på grunn av mangelfull spiring og utvikling, og dermed redusert overvintring, sårbarhet for regnskyll/erosjon og mindre avlinger (Green m.fl. 1985).

Varmere og mer ustabile vintre kan gi et mindre stabilt snødekke og flere snøsmeltingsepisoder. Det er fremdeles usikkert om temperaturendringene vil gi økt frekvens av fryse-/tineepisoder. Hvis disse episodene blir hyppigere, kan høstkornet få problemer med å overvintre, og faren for utlekking av næringsstoffer fra planterester gjennom vinteren kan øke (Liu m.fl. 2012). Gjentatt frysing og tining kan dessuten redusere jordas aggregatstabilitet (Kværnø og Øygarden, 2006) og kohesjon, noe som gjør jorda mer erosjonsutsatt. Men det er også mulig at klimaendringene ikke vil gi store endringer i fryse-/tinesyklusene, og hvis temperaturene om høsten øker, kan høstkornet utvikle seg godt og derved beskytte jorda mot erosjon gjennom vinteren.

Usikkerhet

Usikkerheten i denne studien er særlig knyttet til utvalg og antall deltakere i møtene. Selv om antall deltakere var begrenset, representerte de et bredt spekter av organisasjoner, som bondelag, fylkesmannen, landbrukskontorer i kommunene, land-

bruksrådgivingen og vannregionledere. Det er likevel ønskelig å videreføre denne undersøkelsen på et bredere plan; både med flere aktører/bidragstyttere, og i andre regioner/fylker.

Konklusjon

Klimaendringer kan ha både direkte og indirekte konsekvenser på vannkvaliteten i jordbruksområder, hvor de indirekte effektene kan skyldes at arealbruken endres som følge av klimaendringene. Opplysningene som ble innhentet i arbeidsmøtene i regionene Østlandet, Sørvest-Norge og Midt-Norge tilsier at klimaendringer kan gi betydelige arealbruksendringer i jordbruket. En lengre sesong vil kunne endre bondens valg av vekster, og dermed gi endringer i plantedekke gjennom året. Med enkelte nye planteslag, som f.eks. mais, eller ved økning i andel grønnsaksproduksjon, kan erosjon og næringsstofftapet øke. Bruk av høstvekster ser ut til å kunne bli mer aktuelt, men samtidig kan tidsvinduet for jordarbeiding bli vesentlig kortere pga. økt nedbør. Når det i tillegg finnes utviklingstrender som færre bønder og mer leiejord, samt tyngre maskiner, kan jordpakking bli et økende problem. Dette kan tilsi økt overflateavrenning og dermed mer erosjon og næringsstoffavrenning.

Tidligere studier (f.eks. Deelstra m.fl., 2011) har vist at klimaendringer med økt og mer intens nedbør kan gi mer erosjon og næringsstoffavrenning. I denne studien har vi vist at klimaendringer sannsynligvis også kan gi endret arealbruk i jordbruksområder, og at flere av disse arealbruksendringene kan øke avrenningen av jord og næringsstoff til vannforekomstene. Hva som vil skje i praksis vil avhenge av en kombinasjon av bondens valg, politiske beslutninger og økonomiske forhold. Det vil uansett være av betydning å ha kunnskap om hvordan valg av arealbruk kan påvirke vannkvaliteten. Scenariene som er utviklet i denne studien vil derfor bli benyttet i modelleringsarbeid for bedre kvantifisering av effektene av de ulike valgene.

Takk

Arbeidet er finansiert gjennom Strategisk Instituttsetting (SIS) finansiert gjennom Landbruks-

og matdepartementet. Mer informasjon om prosjektet finnes på www.bioforsk.no/catchy. Deltakerne i arbeidsmøtene fortjener stor takk for helhjertet innsats, herunder vilje og mot til å vurdere fremtidige trender. Csilla Farkas (NIBIO) takkes for diskusjoner om modeller.

Referanser

Arnoldussen, A.H., Forbord, M., Grønlund, A., Hillestad, A.E., Mittenzwei, K., Pettersen, I. & Tufte, T. 2014. Økt matproduksjon på norske arealer. AgriAnalyse Rapport 6-2014.

Bechmann, M. & Deelstra, D. (eds). 2013. Agriculture and environment – Long term monitoring in Norway, Akademika publishing. Trondheim. Norway.

Bechmann., M. Kværnø, S og Eklo, O.M. 2015. Årsrapport fra Kjelle avrenningsforsøk. NIBIO Rapp. 1 (80), 66 s.

Brastad, B., Rønning, L., Årseth, L.M., Hegrenes A. & Stornes, O.K. (2006). Scenarier for landbruket i Nordland. Nordlandsforskning 2003-02. ISBN 82-7321-472-9

Deelstra, J., Øygarden, L., Blankenberg, A.G.B. & Eggestad, H.O. 2011. Climate change and runoff from agricultural catchments in Norway. International Journal of Climate Change Strategies and Management 3(4): 345-360.

De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G. & Ritsema, C.J. 1996. LISEM: a single event physically-based hydrologic and soil erosion model for drainage basins: I. Theory, input and output. Hydrological Processes 10, 1107-1117.

Döll, P., Krol, M., Fuhr, D., Gaiser, T. Herfort, J. & Voerkelius, S. 2012. Integrated scenarios of regional development in Ceará and Piauí. I: Gaiser, Krol, Frischkorn, de Araujo: Global change and regional impacts: Water availability and vulnerability of ecosystems and society in the semiarid Northeast of Brazil. Springer Science & Business Media, 429 pp.

Gabriels, D., Ghekiere, G., Schiettecatte, W. & Rottiers, I. 2003. Assessment of USLE cover-management C-factors for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium. Soil and Tillage Research 74: 47-53

Green, C.F., Paulson, G.A. & Ivins, J.D. 1985. Time of sowing and the development of winter wheat. The Journal of Agricultural Science 105(1): 217-221.

Greipsland, I. 2015. Sammendrag av tre år med overvåking i Haldenvassdraget. NIBIO RAPPORT 1(1): 84s.

- Haande, S., Rohrlack, T. & Kyle, M. 2014. Utvikling av vannkvalitet i Haldenvassdraget. Sammenstilling av lange tidsserier (1968-2013). Paleolimnologiske undersøkelser i Bjørkelangen og Hemnessjøen. Rapport L. NR.6652-2014.
- Hamza, M. & Anderson. W. 2004. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes, and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82: 121-145.
- Hanssen-Bauer, I, Drange, H., Førland, E.J., Roald, L.A., Børshem, K.Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S., Sorteberg, S., Sundby, S., Vasskog K. & Ådlandsvik, B. 2009. Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing, Norsk klimasenter, september 2009, Oslo
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J. Haddeland, I. Hisdal, H. Mayerm S. Nesje, A. Nilsen, J.E.Ø. Sandven, S. Sandø, A.B. Sorteberg A. & Ådlandsvik, B. 2015. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpassing, oppdatert 2015. Miljødirektoratet rapport 2/2015. ISSN nr. 2387-3027.
- Hauken, M., Stenrød, M., Deelstra, J., Eggestad, H., Øgaard, A. F., Skaalsveen, K., Greipsland, I., Riley, H., Molversmyr, Å., Lunnan, T., Selnes, S., Stubhaug, E., Dreyer, L. & Paulsen, L. 2016. Jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA). Feltrapporter fra programmet i 2014. NIBIO RAPPORT 2(85).
- Jeppesen, E., Kronvang, B., Meerhoff, M., Søndergaard, M., Hansen, K. M., Andersen, H. E. & Olesen, J. E. 2009. Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations. *Journal of Environmental Quality*, 38(5), 1930-1941.
- Kirby, A. 2009. Climate in Peril: A Popular Guide to the Latest IPCC Reports. United Nations Environment Programme – 2009. 57 pp.
- Kirkby, M.J., Irvine, B.J., Jones, R.J.A., Govers, G., & The PESERA Team (2008) The PESERA coarse scale erosion model for Europe I.- Model rationale and implementation *European Journal of Soil Science* 59 1293– 1306.
- Kosten, S., Huszar, V. L., Bécares, E., Costa, L. S., Donk, E., Hansson, L. A. & Meester, L. 2012. Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology* 18(1): 118-126.
- Kværnø, S. H., & Øygarden, L. 2006. The influence of freeze-thaw cycles and soil moisture on aggregate stability of three soils in Norway. *Catena* 67(3): 175-182.
- Kværnø, S.H., Turtumøygard, S., Grønsten, H.A. & Bechmann, M., 2014. Modellverktøy for beregning av jord- og fosfortap fra jordbruks-dominerte områder. Dokumentasjon av modellen Agricat 2. Bioforsk rapport 9(108), 26 s.
- Lima, P., Silva, M., Curi, N. & Quinton, J. 2014. Soil loss by water erosion in areas under maize and jackbean intercropped and monocultures. *Ciênc. Agrotec, Lavras*. 38(2): 129-139
- Liu, j., Khalaf, R., Ulèn, B. & Bergkvist. G. 2013. Potential phosphorous release from catch crop shoots and roots after freezing-thawing. *Plant and Soil* 371(1): 543-557.
- Mallampalli, V. R., Mavrommati, G., Thompson, J., Duveneck, M., Meyer, S., Ligmann-Zielinska, A., Druschke, C. G., Hychka, K., Kenney, M.A., Kok, K. & Borsuk, M. E. (2016). Methods for translating narrative scenarios into quantitative assessments of land use change. *Environmental Modelling and Software* 82, 7–20. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.04.011>
- Mittenzwei, K. & Nersten, N.K. (2004). Scenarier for norks landbruk og landbrukspolitikk med vekt på WTO: Konsekvensanalyse med JORDMOD. NILF notat 2004-16.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G. Kiniry, J.R. & Williams, J.R. 2009. Soil and Water Assessment tool. Theoretical Assessment Tool. Theoretical Documentation.
- Rounsevell, M.D. & Metzger. M.J. 2010. Developing qualitative scenario storylines for environmental change assessment. *WIREs Climate change*. Volume 1. July/August 2010.
- Skarbøvik, E., Haande, S., Bechmann, M. & Skjebred, B. 2016. Overvåking Morsa 2014-2015. NIBIO Rapp. 42(2): 71 s.
- Skøien, S., Børresen, T. & Bechmann, M. 2012. Effect of tillage methods on soil erosion in Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*. 62: 191-198.
- Slymaker, O. 2001. Why so much concern about climate change and so little attention to land use change? *Canadian Geographer* 41(1): 71-78
- Cosgrove W.J. & Rijsberman, F. 2000. World Water Vision. World Water Vision: Making Water Everybody's Business. Earthscan Publications Ltd Copyright © World Water Council, 2000. <http://www.worldwatercouncil.org/index.php?id=961>
- Youssef, M.Y., Skaggs, R.W. Chescheir, G.M. & Gilliam. J.W. 2005. The Nitrogen Simulation Model, DRAIN-MOD-N II. *Trans. ASAE* 48(2):611-626.
- Øygarden, L. 2003. Rill and gully development during an extreme winter runoff event in Norway. *Catena* 50(2): 217-242.

Vagstad, N. Abrahamsen, U., Strand, E., Uhlen, A.K., Lund., H.J., Rognlien., A. Stuve., L.F., Stabbetorp., E.M.H., Mangerud., K. & Solberg. 2013. Økt norsk kornproduksjon. Utfordringer og tiltak. Rapport fra Ekspertgruppe.

Vik, J.m.fl. Scenarier for norsk landbruksproduksjon- En snål rapport, et tverrfagelig eksperiment og et diskusjonsgrunnlag. NIBIO Rapport (in prep.).

Wade, A.J., Durand, P., Beaujouan, V., Wessel, W.W., Raat, K.J., Whitehead, P.G., Butterfield, D., Rankinen, K. & Lepisto, A. 2002. A nitrogen model for european catchments: INCA, new model structure and equations. Hydrological Earth system science 6: 559-582