



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Vannmiljøtiltak i grøntproduksjon

Effekter og egnethet av ulike tiltak for å begrense påvirkning av grøntproduksjon på vannmiljø

NIBIO RAPPORT | VOL. 7 | NR. 92 | 2021



Kamilla Skaalsveen, Marianne Bechmann og Randi Seljåsen
Divisjon for miljø og naturressurser, Jord og arealbruk

TITTEL/TITLE

Vannmiljøtiltak i grøntproduksjon. Effekter og egnethet av ulike tiltak for å begrense påvirkning av grøntproduksjon på vannmiljø

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Kamilla Skaalsveen, Marianne Bechmann og Randi Seljåsen

DATO/DATE:	RAPPORT REPORT NO.:	NR./	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
12.05.2021	7/92/2021		Åpen	8877.4	21/00710
ISBN:			ISSN:	ANTALL NO. OF PAGES:	SIDER/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-02844-4			2464-1162	29	

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Landbruks- og matdepartementet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Johan Kollerud (Landbruksdirektoratet)

STIKKORD/KEYWORDS:

Grøntproduksjon, vannmiljøtiltak, fosfor, nitrogen, gjødsling

Vegetable and potato production, water pollution, environmental measures, phosphorous, nitrogen, fertilizers

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Miljø og jordbruk

Environment and agriculture

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Denne rapporten er en litteratursammenstilling som tar for seg effekter av ulike tiltak på avrenning av næringsstoffene fosfor og nitrogen, og partikler fra områder med potet- og grønnsaksdyrking. I Norge utgjør områdene med potet- og grønnsaksdyrking en forholdsvis liten del av det totale jordbruksarealet, men representerer allikevel lokalt en viktig kilde til vannforurensning ettersom utvasking og avrenningen av næringsstoffer, særlig fosfor, og jordtapene er mye større fra grøntproduksjon enn fra for eksempel korndyrking og eng/beiteområder. Kunnskap om dyrkingssystemenes effekt på avrenningsprosesser er viktig for å oppnå kostnadseffektiv potet- og grønnsaksproduksjon med minst mulig negativ effekt på miljøet. Sammenstillingen inkluderer en vurdering av fordeler og ulemper ved de ulike tiltakene under norske forhold, samt hvor stor nytte de har sammenliknet med kostnaden av tiltaket.

This literature review is assessing the effects of different measures that aim to reduce negative environmental impacts of vegetable and potato production. These productions represent a relatively small fraction of the total agricultural area of Norway but is nevertheless an important source of water pollution as both the risk of nutrient losses and erosion are higher than for e.g. cereal production and grassland. Knowledge about the effect of production systems on runoff processes is key to achieve economically and environmentally sustainable vegetable and potato productions. This review has therefore included an evaluation of the benefits and drawbacks of different environmental measures seen in the context of economic costs of implementing and maintaining the measures.

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

LAND/COUNTRY: Norge

GODKJENT /APPROVED



JANNES STOLTE

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



MARIANNE BECHMANN



Innhold

1	Innledning.....	5
2	Metode	7
3	Egnethet og egenskaper av vannmiljøtiltak	8
3.1	Tiltak på jordet	8
3.1.1	Balansert gjødsling	8
3.1.2	Fangvekster	11
3.1.3	Vekstskifte.....	14
3.1.4	Bruk av planterester.....	14
3.1.5	Andre tiltak på jordet.....	14
3.2	Tiltak ved og utenfor jordet.....	15
3.2.1	Grasdekte vannveier	15
3.2.2	Grasdekte kantsoner	15
3.2.3	Fangdammer	17
4	Kost-nytte	18
4.1	Tilskuddsordninger	18
4.2	Kostnader og effekter.....	20
4.2.1	Fangvekster	20
4.2.2	Grasdekte kantsoner	20
4.2.3	Fangdammer	21
5	Diskusjon.....	22
6	Konklusjon	25
	Litteratur	26

1 Innledning

I Norge utgjør områdene med potet- og grønnsaksdyrking en forholdsvis liten del av det totale jordbruksarealet. Disse områdene representerer allikevel en viktig kilde til vannforurensning ettersom utvasking og avrenningen av næringsstoffer, særlig fosfor, og jordtapene er mye større fra grøntproduksjon enn fra for eksempel korn dyrking og eng/beiteområder. En av årsakene til dette er at disse arealene er særlig utsatt for vannerosjon grunnet intensiv drift med jordarbeiding om høsten, og i enkelte produksjoner også flere ganger i sesongen (Bechmann og Øgaard, 2010). I noen produksjoner bidrar kjøring med tunge maskiner til jordpakking, f.eks. ved potetopptak, som i tillegg til å forringe jordkvaliteten reduserer jordas infiltrasjonsevne og bidrar til økt overflateavrenning og transport av jord- og næringsstoffer.

I tillegg har jord hvor det dyrkes poteter og grønnsaker ofte svært høye nivåer av plantetilgjengelig fosfor. Årsaken til dette er bruken av store mengder gjødsel i mange produksjoner, som har ført til at disse arealene som regel har et mye høyere innhold av plantetilgjengelig fosfor (P-AL) enn det som er anbefalt utfra et miljøperspektiv (P-AL 5-7 mg P/100g) (Stubhaug m.fl. 2020). Dette fordi høye verdier er ensbetydende med høyere avrenning av både partikkelbundet og løst fosfor (fosfat), med potensielt stor påvirkning på vannkvalitet, som kan føre til eutrofiering (overgjødning) av vannforekomster. Tilsvarende kan også høye nitrogenkonsentrasjoner i jorda, som resultat av gjødslingsregime, føre til tap av nitrat, særlig ved utvasking fra rotsone gjennom jordprofilen. Nitratutvasking varierer i stor grad med jordas hydrauliske egenskaper, innhold av organisk materiale i tillegg til nedbørmengder/vanning. Grøntproduksjon foregår ofte på grove jordtyper, som gjerne har større hydraulisk ledningsevne og dårligere evne til å holde på vannet (dårlig retensjon). Dette bidrar ytterligere til å øke faren for nitrogentap ved utvasking, særlig ved høye nitrogenkonsentrasjoner i jorda (Cameira og Mota 2017).

Effekter av grøntproduksjon på vannmiljø gjenspeiles blant annet av data fra Program for jord- og vannovervåkning (JOVA) hvor erosjon og tap av næringsstoffer blir målt i jordbruksdominerte nedbørfelt i Norge. Nedbørfeltene representerer ulike jordbrukssystemer, dominert av produksjon av korn- og oljevekster, potet, grønnsaker, eng og husdyr. Resultater fra overvåkingsperioden (1992-d.d.) viser at de største tapene av næringsstoffer forekommer i nedbørfelt med potet- og grønnsaksproduksjon (Bechmann m.fl. 2017). Jord- og fosfortap er knyttet tett sammen ettersom fosfor er sterkt bundet til jordpartikler. Erosjonsrisikoen for arealer med grønnsaker og potet varierer i stor grad med jordegenskaper og terreng, men de er ofte etablert på flate områder hvor erosjonsrisikoen er mindre. På tross av dette har gjerne arealer for grøntproduksjon, like store fosfortap som erosjonsutsatte kornarealer. I sammendragsrapporten som summerer opp overvåkingsresultater fra 1992 til 2016 viste Bechmann m.fl. (2017) at Vasshaglona, som er det JOVA-feltet med mest grøntproduksjon (50% av jordbruksarealet i 2017 hadde potet- og grønnsaksproduksjon, Hauken 2020), også hadde det største gjennomsnittlige fosfortapene på 750 g/daa. Også nitrogentapene var blant de høyeste fra dette feltet, med stigende trend gjennom overvåkingsperioden, men økningen kan delvis forklares av avrenningen.

I potet- og grønnsaksproduksjon er tilstrekkelig gjødsling avgjørende for å oppnå tilfredsstillende produktkvalitet ettersom en del av disse vekstene har forholdsvis små rotsystemer og vanskeligere for å utnytte tilførte næringsstoffer, særlig fosforet, i jorda. I Vasshaglona medførte dette en gjennomsnittlig fosforbalanse på 3,1 kg P/daa, som var det høyeste fosforoverskuddet registrert for JOVA-feltene (Bechmann m.fl. 2017). Generelt sett gjelder dette særlig for tidligkulturer, som krever mer tilsatt fosfor for optimal vekststart og modning (Stubhaug m.fl. 2015). I Norge fører et kaldt klima, med seine og kjølige vårer og somre, til at det blir betraktet som gunstig å gjødsle rikelig som følge av at både fosfor og nitrogen er mindre tilgjengelig ved lave temperaturer. Over tid fører disse faktorene til høye nivåer av plantetilgjengelig fosfor i jorda.

Kunnskap om dyrkingssystemer og vann- og jordprosesser er viktig for å oppnå kostnadseffektiv potet- og grønnsaksproduksjon med minst mulig negativ effekt på miljøet. Denne rapporten er en litteratursammenstilling som tar for seg effekter av ulike tiltak på avrenning av næringsstoffene fosfor og nitrogen, og partikler fra områder med potet- og grønnsaksdyrking. Sammenstillingen inkluderer en vurdering av fordeler og ulemper ved de ulike tiltakene under norske forhold, samt hvor stor nytte de har sammenliknet med kostnaden av tiltaket.

2 Metode

I denne rapporten har det blitt gjort en sammenstilling av resultater fra studier som har undersøkt effekter av ulike tiltak for å redusere påvirkning av næringsstoffer fra potet- og grønnsaksproduksjon på vannmiljø. Arbeidet er finansiert med midler fra NIBIOs kunnskapsutviklingsmidler som en del av «Miljøvennlige driftsformer».

Informasjonen og resultatene som har blitt undersøkt stammer primært fra norske studier, både hentet fra relevante rapporter (bl.a. NIBIO rapporter), men også fra artikler publisert i internasjonale tidsskrifter (både norske og utenlandske studier). Det har imidlertid vært fokus på effekter av tiltak under norske forhold, og resultater fra utenlandske studier har blitt vurdert i forhold til norske jord- og klimaforhold.

Litteratursøk har foregått i norske databaser (Brage), via Google Scholar og andre søkemotorer/databaser (som Web of Knowledge). Informasjon har også blitt innhentet fra relevante fagpersoner med kjennskap til temaet.

Ettersom det foreligger mest kunnskap om vannmiljøtiltak i forbindelse med kornproduksjon i Norge er noen av funnene for grøntproduksjon basert på et noe mindre kunnskapsgrunnlag og tidvis på overføring av kunnskap fra åpen åker-områder med korndyrking.

3 Egnethet og egenskaper av vannmiljøtiltak

Tiltak for å redusere tap av nitrogen og fosfor kan deles inn i to ulike kategorier: tiltak på jordet og tiltak ved/utenfor jordet. Førstnevnte er knyttet til dyrkningssystemer/metoder som tiltak, for eksempel ved å redusere overflateavrenning/øke infiltrasjonen i jorda, ved endring av gjødslingspraksis, bruk av fangvekster, vekstskifte eller anvendelse av planterester. Med andre ord, å hindre tap av næringsstoffer «ved kilden» ved å optimalisere dyrkningssystemet til økt opptak og utnyttelse av vann og gjødselressursene. Tiltak ved/utenfor jordet har imidlertid som mål å kontrollere transporten av næringsstoffer vekk fra jordet for å minimere miljøbelastningen, som ved å bremse hastigheten på avrenningen og øke sedimentasjon/infiltrasjon ved hjelp av grasdekte soner eller andre ulike mekanismer for å holde tilbake jord og næringsstoffer i avrenningen, f.eks. med fangdammer (Wang m.fl. 2019). I avsnittene under vil effekter av ulike tiltak presenteres og diskuteres med tanke på deres evne til å redusere tap av nitrogen og fosfor til vannmiljø.

3.1 Tiltak på jordet

3.1.1 Balansert gjødsling

Balansert gjødsling er et viktig tiltak for å redusere negativ påvirkning på vannmiljø, men også for å unngå unødige gjødslingskostnader for bonden. Fosfortap forekommer både ved overflateavrenning og via grøfteavrenning. Fosforinnhold i jorda avhenger av tidligere gjødslingsregime (tilførsel av mineral- og husdyrgjødsel), men også av hvor mye fosfor som fjernes med avlingene (Øgaard m.fl. 2016). Særlig i leirjordsdistrikt er det utfordringer med overflateavrenning av fosfor ved erosjon, men også avrenning gjennom grøftesystemer, særlig ved høye fosforkonsentrasjoner i jorda. Risiko for tap av fosfor øker ved høye P-AL-tall grunnet fosforets tilgjengelighet i jorda, og særlig ved verdier over 12-13 mg/100 g (Riley m.fl. 2012) og høyt innhold av fosfor i eroderte partikler. Det gjødsles ofte rikelig med nitrogen i grønnsaksproduksjon, spesielt på sandjord. Dette resulterer i at jorda inneholder høye konsentrasjoner av nitrogen som er utsatt for utvasking. Nitrat tapes potensielt til vannmiljøet i perioder med lite planteopptak av nitrogen. Tap av både totalnitrogen og nitrat var høyt fra JOVA-felter dominert av grøntproduksjon (Vassaglona), særlig om høsten (august-november) (Bechmann 2014). En mulig forklaring på høye tap av løst nitrat kan være økt mineralisering ved pløying. Andre studier viser også at store mengder planterester som inkorporeres etterfulgt av mye nedbør kan være en mulig årsak (Tei m.fl. 2020).

3.1.1.1 Mobilitet og opptak

Fosfor og nitrogen er viktige næringsstoffer for plantevekst og fosfor har særlig betydning for plantens modningsprosesser (Koch m.fl. 2019). Etersom fosfor er lite mobilt i jorda, er kontakt mellom planterøtter og fosforet avgjørende for en tilfredsstillende planteutvikling. Også nitrogenutnyttelsen er dårlig i mange grøntproduksjoner, ofte på mindre enn 50 % og så lavt som 20% av gjødsla tas ut med avlingen (Agneessens m.fl. 2014). Opptak og mobilitet av næringsstoffer som fosfor og nitrogen i grøntproduksjoner avhenger blant annet av jordsmonn, jordfuktighet og temperatur. Norske værforhold gir økt behov for gjødsling ettersom vekstsesongen er kort (Stubbhaug m.fl. 2015) og temperaturer i stor grad styrer næringsstoffers tilgjengelighet. Fosfor transporteres i jord ved hjelp av diffusjon, som går seint ved kalde temperaturer, og som fører til redusert tilgjengelighet for planterøtter. Kalde temperaturer påvirker også mineraliseringen av organisk materiale, som er en viktig prosess for å øke nitrogenopptaket ved frigjøring av plantetilgjengelig nitrogen.

Fosforgjødslingsbehovet for potet og en del grønnsaker er høyere enn for korn grunnet et mindre effektivt rotsystem. Rotdybde varierer mye mellom ulike grøntkulturer og vekster med et godt utviklet rotsystem, som kålvekster, har gjerne et mer effektivt næringsopptak. Løk har derimot et rotnett med kort utstrekning og er derfor avhengig av større gjødselmengder tett på plantene for tilfredsstillende

vekst (se avsnitt 3.1.1.4). Moldinnholdet i jorda er også med på å avgjøre nivåer av plantetilgjengelige nitrogen. Dersom jorda har et høyt moldnivå kan man gjerne tillate lavere tilførsler av nitrogen som følge av bedre utnyttelse av reservene i jorda og mer frigjøring i vekstsesongen (Stubbhaug m.fl. 2015).

Grønnsaksjord blir ofte liggende bar og ubeskyttet i lange perioder, etter høsting og gjennom vinteren. Dette kan i kombinasjon med pakkeskader, som kan oppstå ved innhøsting med tungt utstyr på fuktig jord, være svært uheldig for jordstrukturelle forhold (Riley m.fl. 2012). I hvilken grad jorda har god struktur som fremmer rotutvikling, vil påvirke hvilket fosforinnhold som er optimalt. En pakket jord vil med andre ord ha et høyere optimalt fosfornivå og dermed ha større behov for gjødsling. Økt behov for gjødsling fører over tid til et høyt næringsinnhold i jorda som gir økt sannsynlighet for avrenning til vannmiljøet (Stubhaug m.fl. 2015). Optimal utnyttelse av fosfor-gjødsel er utfordrende med tanke på at både for høye og for lave pH-nivåer kan gjøre fosfor mindre tilgjengelig i jorda. Ved lav pH kan fosfor gjøres mer tilgjengelig ved hjelp av kalking. Ved dyrking av kålvekster som behøver pH på 7 eller høyere for ikke å utvikle klumprot, kan fosfor bli mer utilgjengelig og det er behov for økte tilførsler for å motvirke fosformangel (Riley m.fl. 2012). P-AL metoden kan overestimere fosfor-tilgjengelighet ved høy pH (>7) og det kan derfor være aktuelt å tilføre mer fosfor enn anbefalt på kalkrik jord med P-AL nivåer 5-10.

Utvasking av nitrat bestemmes av konsentrasjoner i jorda og avrenning via drenering.

Konsentrasjoner avhenger av innhold av organisk materiale, nitrogenomsetning og nitrogenoverskudd, mens avrenning via drenering påvirkes av jordas hydrauliske egenskaper, temperatur og vanntilførsel. Dersom vanningsystemer benyttes i produksjoner eller nedbørmengden er høy, øker sannsynligheten for nitrogenutvasking i løpet av vekstsesongen, særlig dersom det vannes med overskudd av vann. Overskudd av nitrogen i jorda fører igjen til høyere sannsynlighet for tap av nitrat etter høsting (Cameira og Mota 2017). Viktigste årsak til nitrogenutvasking i Norge er stort nitrogenoverskudd i jorda og jordarbeiding (som konsekvens av høsting) som fører til omsetning av nitrogen. Grønnsaker høstes gjerne i en periode der opptaket av nitrogen i plantene fremdeles er høyt med stor mineralisering og frigjøring av nitrat i jorda. Planterester fra grøntproduksjon består av ofte betydelig større mengder biomasse enn fra kornproduksjon med høyt innhold av nitrogen, som gir et lavt C:N forhold og økt risiko for nitrogentap (Cameira og Mota 2017).

3.1.1.2 Fjerning av P med avling

Andel fosfor som fjernes fra jorda med avling varierer mye mellom ulike slag av grønnsaker, og såkalt balansetilførsel vil si at man tilfører like mye fosfor til jorda med gjødsel som man fjerner med avling. I svært fosforrik jord vil det også være aktuelt å gjødsle under balansetilførsel for gradvis å tappe jorda for fosfor så risikoen for negativ påvirkning på vannmiljø reduseres. Dette vil derimot være en mindre aktuell løsning for vekster med et grunt rotsystem, som løk, med tanke på at denne veksten har et dårlig utviklet rotsystem med begrenset evne til å ta opp P fra jordreservene. I slike tilfeller vil derfor balansetilførsel over år kunne være mer aktuelt for ikke å risikere tap av avling og store økonomiske tap (Stubhaug et al. 2015), i tillegg til radgjødsling i stedet for bredspredning (se 3.1.1.4)

Norm-gjødsling refererer til en justering av gjødslingen i forhold til P-status i jorda. Mange grønnsaksdyrkere velger derimot å se bort i fra slike korrigeringer for å unngå risiko for tap av avling, ettersom dette utgjør en vesentlig økonomisk risiko. Normene for løk, kål og gulrøtter ble redusert i 2012 (Riley m.fl. 2012), etterfulgt av brokkoli, blomkål, kålrot og isbergsalat i 2015 (Stubhaug et al. 2015). Fosfornormene for potet ble redusert i 2019 fra en tidligere anbefalt fosforgjødselmengde på 4,5 kg P til 3,5 kg P pr daa, med anbefalinger om å redusere gjødselmengden med 75 % ved P-AL over 15 (Øgaard m.fl. 2016).

I en NIBIO-rapport fra 2016 utført på oppdrag fra Miljødirektoratet ble forslag til forskriftskrav om tillatt spredmengde av fosfor i husdyrgjødsel i jordbruket utredet (Øgaard m.fl. 2016). De fire alternativene for restriksjoner på fosforgjødsling var: 1) restriksjonene i dagens gjødselvereforskrift, som vil si en maksimal fosfortilførsel med husdyrgjødsel på 3,5 kg P/daa, 2) maksimal fosforgjødsling

basert på høyeste normale avling av ulike vekster i ulike regioner, hvilket inkluderer fosfor av alle typer gjødsel, 3) fosforgjødsling ifølge NIBIO's gjødslingsanbefalinger som er justert etter middellavling og jordas P-AL-tall. Beregninger av fosforbalanser ble i den sammenheng gjort med utgangspunkt i eksisterende kunnskap om fosforgjødsling, fosforbalanser, jordas fosforstatus og risiko for fosfortap for å estimere konsekvenser for vannmiljø. Rapporten konkluderer med at belastningen på vannmiljø vil kunne reduseres på lang sikt ved å begrense fosforstatus i jorda.

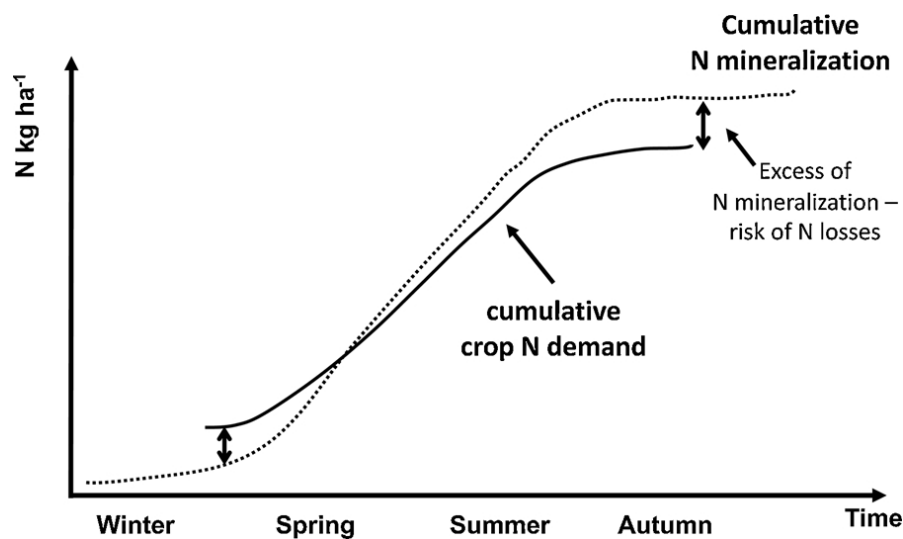
3.1.1.3 Nitrogenbalanse

Grøntproduksjon foregår gjerne på jord av grovere tekstur med dårlig evne til å holde på fuktighet og med høy hydraulisk ledningsevne (tiden vann bruker på å bevege seg gjennom jorda), så overskudd av plantetilgjengelig nitrat i jorda har høy sannsynlighet for å tapes utenom vekstsesongen via vann som beveger seg gjennom jordmassene, særlig ved mye nedbør eller vanning. I vekstsesongen vil evapotranspirasjon og opptak av nitrogen i plantene redusere risiko for utvasking. En viktig faktor som påvirker sannsynligheten for tap av nitrat er konsentrasjonen av nitrat i jorda, som påvirkes av innhold av organisk materiale, omsetning av organisk materiale, planteopptak av nitrat og gjødslingspraksis. Kunnskap om hvilke faktorer som påvirker den totale nitrogenbalansen i produksjonssystemet og hvilke virkemidler vi har som kan føre til mer effektivt opptak av N, er derfor viktig for å bedre gjødselutnyttelsen og redusere påvirkning på miljøet (Cameira og Mota 2017).

Kunnskap om de ulike prosessene som inngår i nitrogenbalansen er nødvendig for å optimalisere gjødslingsregime og opptak, og minimere tapet av næringsstoffer. En rekke ulike former for nitrogen inngår i den totale nitrogenbalansen: tilført nitrogen (N mineralisert fra organisk materiale, nitrogen fra gjødsel, nitrogen fra vanningsystemer, N-fiksering i belgvekster og atmosfærisk nitrogen) i tillegg til bortført og utilgjengelig nitrogen (opptak og fjerning av nitrogen med avling, opptak i fangvekster, tap av nitrogen til luft ved denitrifisering, tap gjennom avrenning eller til atmosfæren, og immobilisering av nitrogen i jorda). Mange av disse komponentene er vanskelig å kvantifisere ettersom disse prosessene er veldig dynamiske og nitrogen kan endre seg raskt fra en form til en annen (Tei m.fl. 2020).

For å optimalisere nitrogenutnyttelsen bør mineralsk nitrogen i jorda ved planting inngå i beregninger av i balansen. Dette er viktig ettersom konsentrasjonen avhenger veldig av forrige avling, værforhold og tidspunkt for planting. Mineralisering og immobilisering av nitrogen foregår til enhver tid og påvirkes i stor grad av temperatur, jordfuktighet og jordpakking i tiden før planting.

En utfordring, særlig i temperert og fuktig klima er at det kan eksistere et misforhold mellom mineralisering og nitrogenopptak i plantene (Figur 1). Dette skjer ved at lave temperaturer tidlig på våren fører til at mineralisering av nitrogen er lavere enn behovet til plantene (Tei m.fl. 2020). Det fører til at det ofte tilføres store mengder gjødsel i denne perioden. Ettersom temperaturen stiger utover året øker mineraliseringen til et høyere nivå enn behovet (særlig dersom mye gjødsel ble tilført tidlig på våren), som fører til et høyt nivå av mineralisert nitrogen på høsten og tilsvarende høy risiko for utvasking ettersom opptaket er lavt på dette tidspunktet (Tei m.fl. 2020). Dette mønsteret vises også i JOVA-feltet Vasshaglona (dominert av grønnsaks- og potetproduksjon) hvor tap av nitrogen var høyest i perioden september-november. Høyere tap på høsten etter høsting forklares med at dette er en periode med høye konsentrasjoner i jorda, men uten opptak av næringsstoffer (Bechmann m.fl. 2014). I tillegg bidrar inkorporeringen av planterester i jorda ved jordarbeiding til en høyere mineraliseringsrate og derfor også mer tilgjengelig nitrogen (Agneessens m.fl. 2014).



Figur. 1. Manglende synkronisering mellom mineralisering av nitrogen og plantebehov. På våren er fremdeles mineraliseringen begrenset, mens vekstenes behov allerede er høyt, mens det motsatte er tilfelle på høsten (også høy mineralisering av nitrogen fra planterester) (Tei m.fl. 2020).

3.1.1.4 Gjødslingsmetode

Hvilken gjødslingsmetode som benyttes kan i tillegg ha mye å si for tap av næringsstoffer. Radgjødsling fremfor breispredning er en måte å få ned gjødslingen på, som innebærer at gjødsla plasseres nær planteradene og i en gunstig dybde med hensyn på rotvekst. Denne metoden gir gjerne bedre næringsopptak sammenliknet med breispredning hvor gjødsla spres jevnt over hele jordoverflaten. Radgjødsling er særlig aktuelt i produksjoner med dårlig utviklede rotsystemer og begrenset næringsopptak.

3.1.2 Fangvekster

Bruk av fangvekster er et miljøtiltak som fortrinnsvis har som formål å redusere risiko for tap av næringsstoffer til vann ved utvasking og avrenning. Fangvekster bidrar også til økt karbonbinding og bedre jordhelse. Fangvekstene dekker til og beskytter jorda om høsten og vinteren, når den ellers ville være bar og eksponert for erosjon. I tillegg kan de bidra til å stabilisere og binde jorda med røttene, hindre tap av næringsstoffer, samt bremse hastigheten på overflateavrenning. I kornåker er fangveksters såtidspunkt mer varierende og de kan blant annet sås sammen med hovedveksten på våren eller om høsten rett før eller etter tidlig tresking. For grønnsaker og poteter sås fangvekster helst etter høsting av tidligkulturer av poteter og grønnsaker for at fangvekstene skal rekke å etablere et godt plantedekke før vinteren. Fangvekster er fremdeles et forholdsvis lite utprøvd tiltak i grønnsaks- og potetproduksjon i Norge ettersom en kort vekstsesong og kalde temperaturer begrenser god etablering, samt reduserer fangveksternes evne til å ta opp overskudd av næringsstoffer i jorda for å redusere tap ved avrenning. For kulturer som høstes sent vil derfor såing av fangvekst etter høsting ikke være et aktuelt tiltak (Bøe m.fl. 2020). Metoder for bruk av fangvekster som underkultur i grønnsaksproduksjon bør videreutvikles (Figur 2).

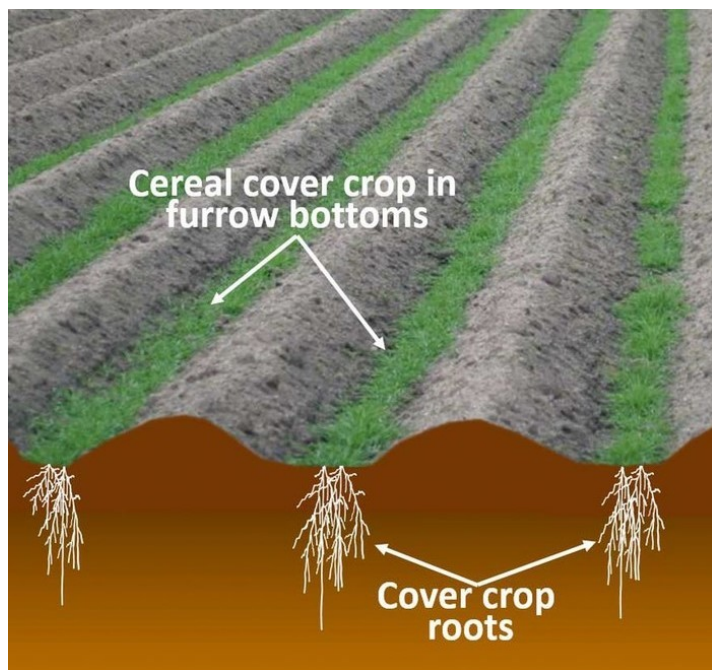


Figur 2. Fangvekster undersådd i kål.

Fangvekster kan i egnede områder ha særlig god effekt på tap av nitrogen fra grønnsaksproduksjon, men også på tilgjengeliggjøring av nitrogen for planten ved bruk av nitrogenfikserende vekster (særlig i grøntproduksjon uten tilgang til husdyrgjødsel) (Tei m.fl., 2020). En litteraturstudie av Aronsson m.fl. (2016) som undersøkte effekter av fangvekster på tap av nitrogen og fosfor under ulike værforhold i Skandinavia og Finland fant at nitrogentapet i gjennomsnitt ble redusert med 43% ved de 11 studiene de undersøkte. De fant mindre dokumentasjon på effekter av fangvekster på fosfortap, men tendenser til at fangvekster hadde liten effekt. Dette bekreftes av en undersøkelse gjort av Neumann m.fl. (2012) hvor de undersøkte effekter av ulike høstingstidspunkt og etterfølgende fangvekst på tap av nitrogen og fosfor fra potetproduksjon. De fant at fosfortap ikke ble påvirket av tidspunkt for høsting av potetene eller av etterfølgende fangvekst, men derimot av store nedbørepisoder rett etter fosforgjødsling. Også studier fra Nordvest-Europa, med fokus på effekter av fangvekster på avrenning av næringsstoffer fra kornåker, har konkludert med at tiltaket har bedre effekt på nitrogentap enn på fosfortap. Dette fordi nitrogen tas opp raskere av planterøttene enn fosfor, som i hovedsak er bundet til partikler (Skaalsveen et al. 2019). Fangvekster pløyes gjerne ned i jorda på våren, som fører til økte konsentrasjoner av nitrogen. Dette bør hensyntas i gjødselplanleggingen, slik at den kan reduseres tilsvarende det som tilføres og frigjøres når disse brytes ned i jorda (Bøe m.fl. 2020).

Det finnes en rekke ulike fangvekstsorter, med ulike egenskaper som i stor grad bestemmer deres egnethet under lokale jord- og værforhold. Hvilke sorter som benyttes er derfor helt avgjørende for effekten og velges gjerne etter hvor raskt de etablerer et dekke før vinteren (Bøe m.fl. 2020). Fangvekster som dør i løpet av vinteren utgjør en risiko for nitrogen- og fosfortap fra den døde biomassen, så hvor frosterdig ulike vekster er har stor innvirkning på deres egnethet under norske forhold. Neumann m.fl. (2012) fant at kombinasjonen tidligdyrket potet etterfulgt av oljereddik (*Raphanus sativus* ssp.) reduserte mineralisk nitrogen i jorda nok til å redusere avrenningen av nitrogen uten at fosfortapet økte. Studien viste at det eksisterer et stort behov for å finne tiltak som kan redusere nitrogentap, særlig for potetsorter som høstes i september/oktober. Grunnen til dette er at det i denne perioden gjerne er for sent for å etablere fangvekster, men allikevel tidlig nok til at

temperaturen høy nok til at nitrogen mineraliseres. Potensielle løsninger kan være å øke nitrogenopptak før høsting ved bruk av nitrogeneffektive potetsorter eller ved å så underkulturer mellom radene med potet (Neumann m.fl. 2012) (Figur 3). God vinteroverlevelse har også blitt registrert for sorter som for eksempel lodnevikke (*Vicia villosa*) og blodkløver (*Trifolium incarnatum*), som i tillegg er positivt med tanke på at disse tar opp nitrogen gjennom vinteren. Ulempen med god vinteroverlevelse kan være økt fare for at plantene opptrer som ugras i påfølgende vekstsesong. Enkelte vekster som kan sås etter høsting av grønnsaker og potet, som for eksempel reddik, bokhvete og svart havre, kan derimot avgi veksthemmende stoffer som kan redusere forekomsten av ugras (Bøe m. fl. 2019).



Figur 3. Illustrasjon av fangvekster sådd mellom rader i potetåker (Brennan 2017).

Samdyrking (intercropping) betyr at ulike kulturer dyrkes sammen, som for eksempel ved å så andre vekster mellom forhøyede rader av potet. Samdyrking praktiseres gjerne for å redusere erosjon og avrenning av næringsstoffer, samt oppnå bedre ressursutnyttelse. Bedre utnyttelse av jordressursene og opptak av næringsstoffer kan forekomme ved «nabosamarbeid» (symbioser) mellom hovedkultur og mellomkultur, som for eksempel dannelse av felles nettverk av mykorrhizza (soppørter), samt økt resirkulering av næringsstoffer som følge av økt tilbakeføring av organisk materiale (Brooker m.fl. 2015). I grøntproduksjoner med vekster med grunt rotsystem kan en vekst med et bedre utviklet og dypere rotsystem «komplementere» hovedveksten i opptak av næring og vann. Nitrogenfikserende plantearter som belgvekster kan i tillegg ha gjødslande effekt ved å bidra til å fiksere nitrogen fra lufta, frigjøre noe av dette til hovedveksten og potensielt øke avlingen (Nyawade m.fl. 2019), men studier har også vist at belgvekster er mindre effektive enn andre fangvekststyper til å redusere nitrogentap (Tei m.fl. 2020).

Ulemper med dette dyrkingssystemet er derimot at både timing og det praktiske (og mekaniske) rundt såing og såtidspunkt kan by på utfordringer, både når det kommer til tidsbruk, etablering og konkurranse mellom vekstene som kan redusere avling av hovedkulturen. Dette begrenser implementering av dette systemet i grøntproduksjoner (Tei m.fl. 2020). Det er uvisst hvordan dette tiltaket ville prestere under norske forhold ettersom dette dyrkingssystemet er lite utprøvd her. Det er fremdeles behov for mer kunnskap om egnethet og effekter av fangvekster i grønnsaks- og potetdyrking i Norge.

3.1.3 Vekstskifte

Bruk av vekstskifte er en annen metode som kan bidra til mer effektiv utnyttelse av næringsstoffer i jorda, med potensielt positiv effekt på både jordfruktbarhet og vannmiljøet. Et vekstskifte bør ideelt sett inneholde både belgvekster (for nitrogenfiksering), fangvekster for å redusere tap av næringsstoffer, og en kombinasjon av vekster med dype og grunne rotsystem (resirkulering av tilgjengelige næringsstoffer fra ulike dybder av jordprofilen). Vekstskifte er et tiltak som både har jordforbedrende effekt og som bidrar til å redusere tap av nitrogen. Ved å inkludere nitrogenfikserende vekster i skiftet vil tiltaket i tillegg kunne bidra til å redusere gjødslingsbehovet.

Nitrogenfikserende vekster utnyttes mest effektivt dersom de blir etterfulgt av vekster med høyt nitrogenbehov. For ytterligere reduksjon for utvasking anbefales det også å kombinere vekster med ulik rotlengde- og tetthet i vekstskiftet (Li m.fl. 2007). Vekster som danner symbiotiske forhold til mykorrhiza (sopprot) kan også bidra til å redusere utvasking, både ved mer effektivt opptak av næringsstoffer, men også ved å bidra til dannelsen av stabile jordaggregater og makroporer som øker infiltrasjonen og vannretensjonen, som igjen reduserer erosjonsrisikoen. Mykorrhiza muliggjør også opptak av organisk nitrogen (Asghari og Cavagnaro 2012). Vekstskifte i grøntproduksjon er imidlertid forbundet med tap av inntekt med tanke på at vekster av høy verdi til tider vil bli erstattet av vekster med lavere verdi (korn, eng eller grønnngjødslingsvekster).

3.1.4 Bruk av planterester

For å redusere risikoen for nitrogentap etter høsting bør innholdet av nitrogen i planterestene tas med i betraktningen ved gjødslingsplanlegging i tillegg til potensialet for mineralisering av organisk materiale (Congreves m.fl. 2013). Riktig forvaltning av planterester er viktig for å bevare nitrogen for neste avling (Agneessens m.fl. 2014). Inkorporering av planterester i plogsjiktet kan ha positiv effekt på tap av nitrogen til luft, men kan potensielt øke nitrogentap til vann («pollution swapping»). Ved å etterlate planterestene intakt på jordoverflaten etter høsting vil man redusere hastigheten på mineraliseringen, og inkorporeringen kan utsettes til perioder med lavere risiko for nitrogentap. Denne praksisen kan imidlertid føre til økt tap til luft og høyere sannsynlighet for plantesykdommer. Lukt i forbindelse med forråtnelse av for eksempel kålrester kan være uønskelig i områder med bebyggelse.

Inkorporering av planterester fra avling sammen med andre planterester, for eksempel fra kompost med høyt C:N-forhold, er en metode som kan øke C:N forholdet og på den måten redusere mengden tilgjengelig nitrogen gjennom immobilisering og/eller redusert mineralisering (De Neve m.fl. 2004, De Neve m.fl. 1996). Denne metoden vil i tillegg redusere risikoen for plantesykdommer ettersom kompostering er effektivt for å redusere effekten av soppsporer (Smit m.fl. 2008). Bruk av planterester i forbindelse med gjødsling har også vist å ha positiv effekt på nitrogentap. Ved å blande inn halm i husdyrgjødselen vil dette gi høyere C:N forhold enn ved bruk av blautgjødsel fra husdyr (Chambers m.fl. 2000).

Metoder for høsting som etterlater rotsystemet intakt i jorda (som brokkoli og blomkål) kan ha litt lik funksjon som fangvekster gjennom vinteren ettersom de fortsetter å vokse (Nett m.fl. 2011). Å fjerne planterester for så å tilbakeføre dem til jordet på et senere tidspunkt kan redusere alle former for utslipp, men må synkroniseres med etterfølgende veksters behov for næring for å være effektivt (Everaarts m. fl. 1996).

3.1.5 Andre tiltak på jordet

Flere av tiltakene som er beskrevet i denne rapporten er gjerne mer utprøvd på kornproduksjon enn for grønnsaker og potet. Det finnes imidlertid tiltak som er spesielt myntet på denne typen produksjon, hvor vekstene gjerne plantes i rader med furer mellom (Figur 4). I potetåker med helning som er spesielt utsatt for avrenning og erosjon kan for eksempel små dammer mellom rader av potet

kalt «tied ridging», «furrow diking» eller «dammer diking» være et lovende tiltak. De små rektangulære forsenkningene har som hensikt å fordrøye og infiltrere vannet, både som et tiltak som kan øke vanninnhold og tilgjengelighet i jorda og som et vannmiljøtiltak. Tiltaket har vist å ha god effekt på overflateavrenning (Vejchar m.fl. 2017).



Figur 4. Furer mellom rader i grøntproduksjon som tiltak mot erosjon og avrenning (Vejchar m.fl. 2017).

3.2 Tiltak ved og utenfor jordet

3.2.1 Grasdekte vannveier

Grasdekte vannveier etableres i områder av jordet som er særlig utsatt for erosjon som følge av topografi, som i dråg, der vannet naturlig samler seg. Tiltaket beskytter derfor jorda mot erosjon, samt øker infiltrasjonen av overflatevann (Øygarden m.fl. 2018) og holder tilbake partikler og partikkelbundet fosfor. Flerårige grasvekster etableres på erosjonsutsatt areal for å gi bedre beskyttelse av jorda. Graset bør ha et jevnt og tett plantedekke med et velutviklet rotsystem, og helst være rustet til å overleve vinteren for beskyttelse mot jordtap året rundt (Øygarden m. fl. 2019).

Grasdekte vannveier er først og fremst et tiltak som skal hindre løsrivelse av partikler fra jordoverflaten, bremse overflateavrenning og øke sedimentasjon av jord som fraktes med avrenningen. Dette har vist seg å ha god effekt på jordtap under både europeiske (Mekonnen m. fl. 2015) og norske forhold (Grønsten 2008). Tiltaket er derfor også effektivt når det kommer til å hindre tap av partikkelbundet fosfor til vann. Effekten varierer imidlertid med topografien på jordet, særlig vannføringen i dråg og forsenkninger. På kilden.nibio.no er det presentert kart over dråg på jordbruksarealer. Grasstriper er også et egnet tiltak for å redusere hellingslengde og bremse vannet i særlig utsatte skråninger.

Avrenning av nitrogen avhenger i stor grad av gjødslingsmengden, men opptak i plantene i en lengre periode av året kan potensielt føre til en reduksjon, men tiltaket utgjør kun et lite areal og vil derfor ha begrenset effekt. Graset bør allikevel høstes for å redusere risikoen for utvasking og tap av næringsstoffer gjennom utfrysing (Øygarden m. fl. 2019).

3.2.2 Grasdekte kantsoner

Grasdekte kantsoner eller buffersoner er områder hvor det dyrkes gras langs vannforekomster for å bremse og redusere tilførsler av jord og næringsstoffer som fraktes med overflateavrenning fra jorder. Tiltaket kan være særlig aktuelt blant annet ved potet- og grønnsaksproduksjon hvor jorda periodevis er uten vegetasjonsdekke (Figur 5). Kantsonene har i tillegg som hensikt å bedre vanninfiltrasjonen,

samt å øke avstanden fra jordet til vannforekomsten for å redusere påvirkning av gjødselspredning og sprøyting (Blankenberg m.fl. 2019). Det kan forventes god effekt av grasdekte kantsoner på arealer med fare for overflateavrenning, og på flomutsatte arealer. På generelt grunnlag kan derfor tiltaket forventes å ha god effekt på områder med potet- og grønnsaksproduksjon ettersom disse jordarbeides og mangler vegetasjonsdekke store deler av året, som fører til at jorda er mer utsatt for overflateavrenning og erosjon. Lokale forhold som topografi, jordtype, driftsform og utforming av kantsonene påvirker effekten av kantsonene (Blankenberg m.fl. 2017).



Figur 5. Grasdekte kantsoner langs vassdrag (Foto: Bechmann, NIBIO).

I en omfattende litteraturstudie undersøkte Blankenberg m.fl. (2017) dokumenterte effekter av grasdekte kantsoner fra både nasjonal og internasjonal litteratur. De fant at kantsonene i de fleste tilfeller var effektive for å bremse partikler i overflateavrenning, som medfører at disse sedimenterer før de når resipienten. I Norge har langtidsforsøk vist en gjennomsnittlig renseeffekt på opp mot 91 % på partikler i overflateavrenning (se Syversen, 2002). Ved å hindre sedimenter fra jordet i å nå vannforekomsten bidrar dette og automatisk til å redusere tilførsler av totale mengder fosfor ettersom størsteparten er bundet til partikler. I hvor stor grad grasdekte kantsoner bidrar til å redusere tilførsler av løst fosfat er derimot mer variabelt. Tiltaket har også vist god retensjon av nitrogen som tilføres med overflateavrenning, blant annet forklart av denitrifikasjon, infiltrasjon i jorda og opptak av vegetasjonen. Nitrogenavrenning skjer for det meste (70-100 %) gjennom grøfteavrenning (Kværnø og Bechmann, 2010) og kantsoner har liten eller ingen effekt på grøfteavrenning (Syversen, 2002). Nitrogen er vannløselig og transporteres derfor lettere i løs form med vannet enn fosfor. Opptaket av nitrogen i kantsoner er derfor i stor grad bestemt av vegetasjonsdekket, hydrologiske forhold, infiltrasjonskapasitet, oksygenforhold i rotsonen og kantsonens bredde.

Dersom infiltrasjonskapasiteten i jorda er god, vil en kantsone ha svært god effekt på tap av jord og næringsstoffer i perioder uten tele i jorda (Øygarden m. fl. 2019). Det er derfor viktig at god jordstruktur opprettholdes ved at disse sonene ikke benyttes som kjørevei for traktorer og maskiner og utsettes for pakking (Blankenberg og Skarbøvik 2020).

3.2.3 Fangdammer

Fangdammer er konstruerte våtmarker som kan etableres for å redusere påvirkning på vannmiljø i landbruksdominerte nedbørfelt (Figur 6). Vannet renses ved hjelp av naturlige prosesser og komponenter som sedimentasjonskammer, våtmarksfilter, våt vegetasjonssone (overrislingssone), og en utløpsdam, ofte i kombinasjon med terskler eller demninger for å holde vannstanden oppe.

Høy oppholdstid i fangdammen er en fordel når det kommer til renseeffekten på næringsstoffer. Både renseeffekten av nitrat og løst fosfat er relativt liten i fangdammer. Høye P-AL verdier i jorda, som gjerne er tilfelle i områder med potet- og grønnsaksproduksjon, kan medføre høyere konsentrasjoner av løst fosfat, og dårlig renseeffekt for den fraksjonen. De høye P-AL-verdiene betyr også at det er høyt innhold av fosfor i partiklene som sedimenterer, noe som kan bidra til god renseeffekt av fangdammen for den delen av avrenningen fra arealer med grøntproduksjon. Renseeffekten reduseres ved høy avrenning og kort retensjon i fangdammen. Fangdammer er mest effektive i områder med mye erosjon, med store partikler og aggregater som raskt sedimenterer, og er spesielt effektivt ved store jordtap. Fra en del potet- og grønnsaksarealer er det store tap av partikler og partikkelbundet fosfor, og for slike områder vil en fangdam kunne ha stor effekt. Stor erosjon og stor tilbakeholdelse av partikler fører til at sedimentasjonskammeret fylles opp hurtig, noe som krever hyppig tømning, dersom renseeffekt ikke skal reduseres (Øygarden m. fl. 2019).



Figur 6. Fangdam for tilbakeholdelse av jord og næringsstoffer. Foto: NIBIO

4 Kost-nytte

4.1 Tilskuddsordninger

Grønnsaker- og potet er vekster av høy verdi, som medfører desto større økonomiske ulemper for bonden dersom arealer tas ut av produksjon av miljøhensyn, for eksempel ved etablering av grasdekte kantsoner. Økonomiske insentiver er derfor viktige for gjennomføring av tiltak, også med tanke på at grasdekte kantsoner medfører merarbeid for bonden, i tillegg til behov for bruk av annet utstyr en for hovedveksten. Det gis produksjonstilskudd for miljøvennlig jordbruk med hjemmel i ulike forskrifter under Jordlova.

Vannmiljøtiltak omfattes gjerne av tilskuddsordninger gjennom Regionale Miljøtilskudd (tidligere RMP) og tilskudd til spesielle miljøtiltak i jordbruket (SMIL). RMP har som mål å fremme særskilte miljømål i jordbruket og omfatter blant annet støtte til bruk av fangvekster, etablering og skjøtsel av kantsoner, grasdekte vannveier og fangdammer. SMIL gis til engangstiltak som skal hindre forurensning og kan i likhet til RMP bevilges til etablering av blant annet kantsoner og fangdammer. Disse ordningen omfatter ikke gjødslingstiltak (Øygarden m. fl. 2019).

Det kan i stor grad variere hvordan ulike fylker velger å innrette sine miljøtilskudd (Tabell 1). Dette gjelder også hvilke satser som bevilges for tiltak i de ulike regionene, men også hvilke tiltak som støttes av ordningen. Som eksempel støttes bruk av fangvekster av Oslo og Viken, Agder, Innlandet, Rogaland, Trøndelag, og Vestfold og Telemark, men ikke de øvrige regionene. Satsen blir i enkelte fylker delt inn i 'prioriterte områder' og 'andre områder' som er spesifisert i fylkets beskrivelse av RMP-tiltak og satser. Andre fylker igjen opererer kun med en tilskuddssats, men har i tillegg satt et maksbeløp for hvor stor bevilgning man kan få totalt.

Tabell 1. Tilskudd til vannmiljøtiltak i ulike regioner (2020).

Miljøtiltak	Fylke	Tilskudd
Gras på arealer utsatt for flom og erosjon	Oslo/Viken	Prioriterte områder: 250 kr/daa
Fangvekster sådd etter høsting	Oslo/Viken	Prioriterte områder: 250 kr/daa Andre områder: 150 kr/daa
Grasdekt vannvei	Oslo/Viken	Prioriterte områder: 40 kr/daa
Grasstriper i åker	Oslo/Viken	Prioriterte områder: 5 kr/daa
Grasdekt kantsoner i åker	Oslo/Viken	Prioriterte områder: 15 kr/daa
Fangdammer	Oslo/Viken	Prioriterte/andre områder: 1000 pr/dam
Fangvekster sådd etter høsting	Agder	260 kr/daa
Grasdekt kantsoner i åker	Agder	5 kr/meter (korn) 20 kr/meter (potet/grønnsaker) Makstilskudd: 25 000 kr
Fangvekster sådd etter høsting av grønnsaker, poteter og rotvekster	Innlandet	Prioriterte/andre områder: 300 kr/daa
Grasdekte vannveier (grønnsaker/poteter eller korn)	Innlandet	Prioriterte/andre områder: 15 kr/meter

Grasstripe i åker (på tvers av fallet, potet/grønnsaker eller korn)	Innlandet	Prioriterte/andre områder: 8 kr/meter
Grasdekte kantsoner (potet/grønnsaker eller korn)	Innlandet	Prioriterte/andre områder: 15 kr/meter
Fangdam (vedlikehold)	Innlandet	Prioriterte/andre områder: 1000 kr/daa
Fangdam	Norland	7000 kr/daa
Kantsone i åker	Møre og Romsdal	150 kr/meter
Fangdam	Møre og Romsdal	5000 kr/daa
Fangvekster sådd etter høsting	Rogaland	100 kr/daa
Grasdekt sone	Rogaland	30 kr/meter
Grasdekte vannveier (korn, grønnsaker/poteter)	Trøndelag	Prioriterte/andre områder: 35 kr/meter
Grasstripe i åker (korn, grønnsaker/poteter)	Trøndelag	Prioriterte/andre områder: 10 kr/meter
Grasdekt kantsone i åker (korn, grønnsaker/poteter)	Trøndelag	Prioriterte/andre områder: 35 kr/meter
Fangvekster	Trøndelag	Prioriterte/andre områder: 90 kr/daa
Fangvekst sådd etter høsting av tidligkultur (potet/grønnsaker)	Vestfold og Telemark	Prioriterte områder: 250 kr/daa Andre områder: 200 kr/daa
Grasdekte vannveier (i dråg, min 6 m) og grasstriper i åker (min 2 m)	Vestfold og Telemark	Prioriterte områder: 35 kr/meter (grønnsaker/potet), 25 kr/meter (korn) Andre områder: 30 kr/meter (grønnsaker/potet), 20 kr/meter (korn)
Grasdekt kantsone i åker (min 6 m)	Vestfold og Telemark	Prioriterte områder: 30 kr/meter (grønnsaker/potet), 10 kr/meter (korn) Andre områder: 20 kr/meter (grønnsaker/potet), 5 kr/meter (korn)

For enkelte vannmiljøtiltak er det i tillegg forskjell på satser for grønnsaker og potet sammenliknet med korn. Årsaken til dette er at verdien per arealenhet gjerne er større for grønnsaker og potet, som vil si at areal som må omdisponeres til for eksempel grasdekte kantsoner kan medføre større tap enn for omdisponering av areal på kornåker. I Agder er satsen kr. 5,- per meter for korn og kr. 20,- per meter for potet og grønnsaker, mens tilsvarende i Vestfold og Telemark kr. 10,- og kr. 30,-. I andre fylker som i Trøndelag og Innlandet er det ikke forskjell på satsene mellom grønnsaker/potet- og kornproduksjon. Det gis dessuten tilskudd til soner med pollinerende insekter som kan kombineres med vannmiljøtiltakene slik at tilskuddssatsen øker (eksempel i Tabell 2). Disse sonene skal bidra til å bedre forholdene for pollinerende insekter ved bruk av pollinatorvennlige frøblandinger, som også er effektive for å redusere tap av jord og fosfor. Ved å inkludere pollinatorvennlige frøblandinger blir tilskuddet høyere og eksempelet fra Øyeren viser at tilskuddssats for seks meter bredde på grasdekte

vannveier blir kr. 8 333,- pr./daa. For grasdekte kantsoner på seks meter mot vassdrag er satsen på kr. 4 166,- pr./daa med pollinatorvennlige blomsterfrøblanding (Vannområdet Øyeren 2019).

Tabell 2. Tilskudd til kombinasjon av vannmiljøtiltak og soner for pollinerende insekter i vannområde Øyeren (2019).

Tilskuddssatser 2019	Uten soner for pollinerende insekter	Med sone for pollinerende insekter
Grasdekt vannvei	40 Kr/meter	50 Kr/meter
Grasdekt kantsone	15 Kr/meter	25 Kr/meter
Grasstripe i åker	5 Kr/meter	15 Kr/meter

4.2 Kostnader og effekter

For ulike vannmiljøtiltak er det generelt sett store variasjoner i tiltakseffekt og kostnader mellom ulike vannområder. Effektene blir påvirket av lokale forhold, blant annet terreng, jordtype, vær og avling. I en rapport fra Øygarden m.fl. (2018) er det beregnet kostnader og effekter av vannmiljøtiltak i jordbruket. Analysen tar for seg tall fra kornproduksjon og er derfor ikke direkte overførbart til potet- og grønnsaksproduksjon, men tallene vil allikevel gi en indikasjon med tanke på effektivitet (som i rapporten måles med effekt på tap av fosfor, nitrogen og erosjon) og lønnsomhet. Kostnader ved fangvekster er beregnet i Bøe m.fl. (2020).

4.2.1 Fangvekster

Kostnader av etablering av fangvekster varierer med metoden som brukes ved såing og frøkostnad. Denne blir gjerne høyere ved bruk av frøblandinger med flere sorter og ved høy såmengde. Undersådde fangvekster sås samtidig som hovedveksten, som gjerne praktiseres ved korndyrking, mens det ved såing like før eller etter høsting (som er mest aktuelt i grøntproduksjon) benyttes sentrifugalspreder eller såmaskin. Kostnadene som ble beregnet av Bøe et al. (2020) for bruk av fangvekster i grønnsaksområder var 245 kr/daa. Tilskuddssatsene gjennom de regionale miljøtilskuddene varierte i stor grad mellom fylker og eksempelvis varierte satsen per daa fra kr. 90,- i Trøndelag til kr. 300,- i Innlandet fylke.

Kostnadseffektiviteten til fangvekster varierer og er høyere for nitrogen enn for fosfor, ettersom effekter på fosfor er mer usikre, varierende og vanskelige å tallfeste. Fangvekster har vist seg å kunne ha god kostnadseffekt på reduksjon av nitrogenavrenning på kornareal (Aronson m.fl. 2016), mens dette er mer usikkert ved potet- og grønnsaksproduksjon. I tillegg til eventuelle merkostnader forbundet med etableringen av fangvekster er det en betydelig økonomisk risiko knyttet til eventuelle negative påvirkninger av fangvekstene på hovedveksten. Dersom fangvekster såes som underkultur er det risiko for at avlingen reduseres som følge av tiltaket og det økonomiske tapet vil være mye større i grøntproduksjon enn i kornproduksjon, som gjør at potet- og grønnsaksbønder løper en mye større risiko. Ved såing etter høsting av tidligkulturer vil ikke avlingen bli påvirket og kostnadene ved tiltaket vil som for korn bestå av såfrø og maskinkostnader.

4.2.2 Grasdekte kantsoner

For at en kantsone skal være berettiget til RMP-tilskudd skal den være minst seks meter bred fra bekkanten, ikke sprøytes med plantevernmidler eller gjødsles med fosfor, og fornyes tidligst hvert femte år. Grasavlingen fra disse arealene blir gjerne dårlig ettersom gaset er flomutsatt og ugjødslet, og er derfor vanskelig å få omsatt. Beregninger hentet fra Refsgaard m.fl. (2013) viser at salg av høyensilasje til hestefôr gir bedre avkastning enn salg av rundballer med grovfôr, og er beregnet til kr.

185,- på Østlandet og kr. 183,- i Trøndelag i 2013. Uten omsatt avling er kostnaden for de grasdekte kantsonene beregnet til kr. 121,- pr. daa. Dekningsbidraget for en grasdekt kantsoner er uansett i gjennomsnitt mye lavere enn for tilsvarende areal med potet- og grønnsaksdyrking.

Kostnadseffektiviteten for fosfor er størst der erosjonsrisikoen er størst og ble av Øygarden m.fl. (2018) beregnet til under kr. 2000,- pr. kg fosfor for nedbørfelt i erosjonsklasse 3 og 4 for høystpløyde kornarealer uten omsetning for graset i kantsona.

4.2.3 Fangdammer

Ved etablering av fangdam påløper både etableringskostnader i form av anleggskostnader og årlige vedlikeholdskostnader. Fangdammers levetid har blitt estimert til i overkant av 30 år. Prisen pr. arealenhet synker med økende størrelse på fangdammen og ble av Hauge m.fl. (2008) beregnet til om lag kr. 17,-, kr. 12,- og kr. 8,- for henholdsvis størrelser på mindre enn 1 daa, 1-3 daa og større enn 3 daa (justering til 2017-priser av Øygarden m.fl. (2018)).

Kostnadseffektiviteten av fangdammer avhenger av hvor mye fosfor som blir tilført og beregnes ut ifra fosforretensjon i fangdammen. Størrelsen på dammen bør i Norge være på 0,1% av nedbørsfeltets areal. Ved stor erosjonsrisiko ligger kostnadene på fra kr. 40,- til kr. 80,- pr. kg fosfor, mens de ved laveste erosjonsklasse kan ligge på i overkant av kr. 1000,- pr. kg fosfor (Øygarden m.fl. 2018).

5 Diskusjon

Det er utført en rekke undersøkelser av vannmiljøtiltak i Norge, men disse studiene er i hovedsak gjort i forbindelse med kornproduksjon. Dette gjelder også for undersøkelser av hvilke faktorer som påvirker tap av næringsstoffer. Det er i tillegg gjort mer med tanke på reduksjon av fosfortap enn utvasking av nitrogen i Norge, mens det ser ut til å være større fokus på nitrogen i mange andre Europeiske land. I Norge har dette en sammenheng med at fosfor gjerne er den begrensende faktoren for algevekst i ferskvann, som vil si at tilførsler av fosfor vil ha størst betydning for overgjødslings-effekter som algevekst i vannforekomster. I en del andre land i Europa skyldes fokuset på nitrogen store helsemessige utfordringer knyttet til utvasking av nitrat til grunnvann, som brukes til drikkevann og dessuten på grunn av forurensning og eutrofiering i kyst- og havområder. I Norge benytter vi gjerne overflatevann som drikkevannskilde, som kan forklare det ulike fokuset. Økt fokus på næringsstoffproblemer i norske kyst- og havområder betyr at det er god grunn til å hensynta begge næringsstoffer når man skal planlegge for tiltak som reduserer miljøbelastningen grøntproduksjon potensielt forårsaker.

For å bedre opptaket og redusere tap av næringsstoffer i grøntproduksjon bør mer presis gjødsling og mer effektiv utnyttelse av næringsstoffer kombineres med en mer helhetlig systemtilnærming (Tei m.fl. 2020). Anbefalt praksis bør være forskjellig for nitrogen og fosfor ettersom ulike faktorer påvirker tap av de ulike næringsstoffene. Wang m.fl. (2019) fant at jordas nitrogenlager bidrar mer til tap av nitrogen enn selve tilførselen av nitrogen ved gjødsling, mens det motsatte var tilfelle for fosfor hvor fosforgjødsel er en større kilde til fosforavrenning enn fosforet som allerede er i jorda. Motsatt sammenheng er imidlertid vanlig under norske forhold hvor jordas fosforstatus er den viktigste faktoren som påvirker fosforavrenningen og fosfortap ved erosjon (Bechmann 2005, Øgaard m.fl. 2016), med god sammenheng mellom tap av fosfor og tap av partikler (Bechmann 2008). Ved nitrogengjødsling er det i Norge funnet større sammenheng mellom gjødsling og nitrogenavrenning, med god sammenheng mellom gjødslingsmengde og nitrogenoverskudd (som fører til tap til vann og luft) (Bechmann og Stålnacke 2020).

Strategier for å redusere nitrogentap har som mål å opprettholde balanse mellom tilførsel av nitrogen og opptak av nitrogen i plantene. Tidspunkt for jordarbeiding bør synkroniseres med etterfølgende opptak av nitrogen i plantene (Congreves og Van Eerd 2015). Noen studier viser at strategier for å redusere tap etter høsting har større effekt enn strategier for reduksjon i vekstsesongen (Congreves m.fl. 2015). For eksempel vil fangvekster kunne ta opp nitrogen utover høsten når hovedveksten har avsluttet nitrogenopptaket eller er høstet.

Arealer med stor risiko for erosjon og et høyt fosforinnhold i jorda utgjør «hot spots» for fosfortap (Bechmann og Øgaard 2010). For å redusere fosfortap anbefales å redusere risiko for erosjon ved etablering av vekster som dekker jorda og binder jorda. Minst mulig jordarbeiding i forbindelse med høsting kan også bidra til å redusere risiko for erosjon og fosfortap. En reduksjon i fosforgjødsel ved høye P-AL verdier vil også kunne bidra til å redusere fosforinnholdet i jorda og dermed risiko for utvasking av fosfor og avrenning av partikkelbundet fosfor med erosjon. Ettersom tilgjengelighet og opptak av fosfor kan være lavt grunnet dårlige rotsystemer kan det i tillegg anbefales å velge sorter som bedre og mer effektivt nyttiggjør seg av fosforet (som også vil være mer effektive når det gjelder å redusere P-AL ved høsting av avling). I tillegg til fangvekster kan tiltak ved og utenfor jordet bidra til å bremse overflatevann og øke sedimentering og dermed redusere tap av fosfor. Wang m.fl. (2019) fant at fosforavrenningen økte i produksjoner uten tilførsel av gjødsel sammenliknet med produksjoner som fikk tilført gjødsel. De forklarer dette med at dårlige avlinger (glissent plantedekke grunnet ikke tilført gjødsel) kan ha økt risiko for avrenning av total fosfor med overflateavrenningen ettersom plantedekket har en viktig rolle i å redusere/bremse avrenning og hindre erosjon. Dette gjenspeiles av at over halvparten av fosforet i avrenningen var partikulært (bundet til partikler). For nedbørfeltene i Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) er det god sammenheng mellom tap av jord

og totalfosfor, og særlig for feltet som er dominert av potet- og grønnsaksproduksjon er det en tydelig sammenheng ($r^2=0,96$) mellom tap av partikler og totalfosfor (Bechmann m.fl. 2017) og partikkelbundet fosfor utgjør 84 % av totalfosfor for driftssystemer med åpen åker (Brod m.fl. 2017). Sammenhengen viser dessuten at tap av totalfosfor er større per partikkel for feltet dominert av potet- og grønnsaker sammenlignet med de øvrige feltene (korn eller eng med lavere fosforinnhold i jorda) i JOVA-programmet.

Vekster i grøntproduksjon har høy verdi og derfor er gjerne den relative kostnaden knyttet til tilførsler av gjødsel for å sikre avling mindre viktig for bonden, som kan føre til tilførsler blir i overkant høye med negative miljøkonsekvenser. Både rett mengde og tidspunkt for gjødsling er viktig for å optimalisere gjødslingsstrategien og etablere en god balanse mellom gjødseltilførsel og planteopptak (Rochette m.fl. 2013). Tidspunkt for gjødsling er viktig og tilførsler på høsten når jorda enda er varm kan føre til store tap ettersom dette er en periode hvor det fremdeles foregår mineralisering. I tillegg vil økte nedbørmengder i denne perioden bidra til utvasking. Man bør sørge for å tilføre gjødsel i perioder med lavest risiko for utvasking dersom dette er mulig (Cameira og Mota 2017).

Gjødslingstiltak er nødvendige for å minske tapsrisikoen ettersom blant annet tiltak som redusert jordarbeiding, fangdammer og vegetasjonssoner har vist seg å ikke alltid være tilstrekkelig for å oppnå målene i vannforskriften (Øgaard m.fl. 2017). Å kombinere ulike tiltak vil være nødvendig for å oppnå effektiv utnyttelse av næringsstoffer i grøntproduksjon med minst mulig miljøbelastning (Cameira og Mota 2017). Det er i tillegg avgjørende at strategier for å redusere miljøpåvirkning er tilpasset lokale forhold, også med tanke på kostnadseffektivitet.

Ved planlegging av vannmiljøtiltak er det viktig å i tillegg vurdere hvilke eventuelle synergier og avveininger de ulike tiltakene vil kunne ha ut ifra en helhetlig tankegang. Et eksempel på dette er såkalt «nutrient swapping» som nevnt i avsnitt 3.1.4 (bruk av planterester). Det vil si at man bør undersøke om tiltakene som anbefales i forbindelse med vannmiljø ikke for eksempel vil føre til økte utslipp til luft, og også om tiltakene vil føre til for store tap for bonden til at de er økonomisk gjennomførbare. Enkelte tiltak kan i tillegg ha positiv effekt på andre økosystemtjenester, som ideelt sett skulle blitt inkludert i kost-effektberegninger. Eksempler på slike synergier er fangdammer og grasdekte kantsoner som i tillegg til å være vannmiljøtiltak kan ha positiv effekt for biodiversitet. I en rapport fra Øygarden m. fl. (2019), som undersøkte synergier mellom tiltak for vannmiljø, klimatilpasning og klimagassutslipp, ble ulike tiltaksområder med ulik driftsform evaluert. For områder med grønnsaksproduksjon (på Sørlandet) ble en tiltakspakke bestående primært av ulike grastiltak anbefalt. Denne bestod av en kombinasjon av grasstriper på tvers av helninger på jordet for å bremse avrenning, samt grasdekte kantsoner langs vannforekomster, og hvis mulig en fangdam. Fangvekster sådd etter høsting av tidligkulturer og fangvekster mellom rader av grønnsaker ble i tillegg anbefalt. I tillegg var det behov for vanning for å sikre avling. Fosforgjødsling av potet- og grønnsaker ble anbefalt redusert i områder hvor P-AL var meget høyt, og bruk av presisjonsgjødsling av løkvekster ved stripegjødsling.

Flere studier har pekt på at fangvekster som et tiltak med stort potensiale til å redusere nitrogentap etter høsting av grønnsaker, særlig ved bruk av vekster som har god vinterherdighet, samt et dypt rotsystem som bidrar til opptak fra større deler av jordprofilen (Agneessens m.fl. 2014, Thorup-Kristensen 2006). For vekster som høstes seint vil det ikke være tid til å etablere fangvekster rundt tidspunkt for høsting og det er derfor mer hensiktsmessig å etablere disse i god tid før høsting som en underkultur. I tillegg til å kunne ha positiv effekt på utvasking av næringsstoff er fangvekster også et tiltak mot tap av næringsstoffer med overflateavrenning og jorderosjon ettersom fangvekster potensielt både øker infiltrasjonen og beskytter jorda (Morgan 1995, Govers m.fl. 2004). Det eksisterer svært lite kunnskap om fangvekster i grøntproduksjoner i Norge, og dette er et tiltak som potensielt kun er aktuelt i deler av landet som følge av temperaturer og lengde på vekstsesong.

Avrenningens volum har av flere studier blitt pekt på som den viktigste forklarende variabelen for tap av næringsstoffer, som bekreftes av resultater fra JOVA Programmet hvor Bechmann m.fl. (2014)

forklarte det høyere tapet av totalt nitrogen fra Vasshaglona sammenliknet med Heia (felter med intensiv potet- og grønnsaksproduksjon) med større avrenning fra førstnevnte. Vanningsystemer er en viktig komponent i grøntproduksjon ettersom vekstene er lite tørketolerante, som kan føre til unødvendig mye vanning og utvasking av nitrogen, som igjen kan resultere i mindre plantetilgjengelig nitrogen og økt gjødsling (Wang m.fl. 2019). Nøyaktig vanningsregime i grøntproduksjon er derfor en veldig viktig komponent for mer effektiv utnyttelse næringsstoff og mindre miljøbelastning (Vázquez m.fl. 2006).

6 Konklusjon

Denne litteratursammenstillingen har hatt som mål å undersøke kunnskapsstatus i forbindelse med effekter av aktuelle tiltak mot tap av nitrogen og fosfor til vannmiljøet fra grøntproduksjon. Kunnskapsgrunnlaget for grøntproduksjon er per i dag mye mindre enn for områder med korndyrking, trolig ettersom førstnevnte har et mye mindre omfang i Norge. Potet- og grønnsaksområder representerer en viktig kilde til forurensning grunnet høyt gjødslingsnivå, høyt næringsstoffinnhold i jorda og stor erosjonsrisiko i mange produksjoner.

Det er viktig å tilpasse tiltak mot tap av næringsstoffer til lokale forhold og utfordringer, med ulike strategier for nitrogen og fosfor. Fosfortapene reduseres ved å redusere både fosfor i jorda og transporten av fosfor via erosjon. Nitrogentapene reduseres ved å kombinere jordarbeidingstiltak for redusert mineralisering av nitrogen med balansert gjødsling, og sørge for maksimalt opptak i plantene, noe som kan bidra til å redusere jordas innhold av utvaskbart nitrogen. De høye konsentrasjonene av nitrogen og fosfor i jord er ensbetydende med store tap til miljøet.

Ettersom det i grøntproduksjon er snakk om avlinger av høy verdi er det økonomiske aspektet ved å innføre ulike tiltak som okkuperer areal eller som reduserer avling utfordrende, særlig med tanke på at enkelte tiltak er lite utprøvd i Norge. Det er derfor behov for mer kunnskap om effekter av disse tiltakene under Norske forhold.

Litteratur

- Agneessens, L.; De Waele, J.; De Neve, S. 2014. Review of alternative management options of vegetable crop residues to reduce nitrate leaching in intensive vegetable rotations. *Agronomy*, 4, 529–555.
- Asghari, H.R.; Cavagnaro, T.R. 2012. Arbuscular mycorrhizas reduce nitrogen loss via leaching. *PLoS ONE* 2012, 7, e29825.
- Bechmann, M. 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. 2014. Long-term monitoring of nitrogen in surface and subsurface runoff from small agricultural dominated catchments in Norway. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 198, p. 13-24.
- Bechmann, M. og Øgaard, A.F. 2010. Critical source areas of nutrient losses from agriculture in Norway. *Proc. 4th IS Ecol.Fert.Strat Field Veg. Prod. Acta Horticulture 852 ISHS*: 63-72.
- Bechmann, M., Krogstad, T., Sharpley, A.N. 2005. A phosphorus index for Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section Soil and Plant* 55 (3), 205-213
- Bechmann, M., Stenrød, M., Pengerud, A., Grønsten, H., Deelstra, J., Eggestad, H. O., Hauken, M. 2014. Erosjon og tap av næringsstoffer og plantevernmidler fra jordbruksdominerte nedbørfelt. Sammendragsrapport fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) for 1992-2013. *Bioforsk Rapport* 9 (84). 92 s.
- Bechmann, M., Stenrød, M., Greipsland, I., Hauken, M., Deelstra, J., Eggestad, H.O., Tveiti, G. 2017. Erosjon og tap av næringsstoffer og plantevernmidler fra jordbruksdominerte nedbørfelt. Sammendragsrapport fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) for 1992–2016. *NIBIO Rapport*, 3(71), 1-104.
- Bechmann, M., Stålnacke, P. 2020. Agricultural Nitrogen and Phosphorus Pollution in Surface Waters. *The Oxford Research Encyclopedia, Environmental Science*, 02 October 2020.
- Blankenberg, A.G., Skarbøvik, E. 2020. Phosphorus retention, erosion protection and farmers' perceptions of riparian buffer zones with grass and natural vegetation: Case studies from South-Eastern Norway. *Ambio*, 49, pp. 1838-1849.
- Blankenberg, A.G., Skarbøvik, E., Kværnø, S. 2017. Effekt av buffersoner – på vannmiljø og andre økosystemtjenester. *NIBIO Rapport*, 3(14). 76 s.
- Blankenberg, A.G., Skarbøvik, E., Kværnø, S. 2019. Kantsoner: Renseeffekt av plantedekke mellom jordbruksjord og vassdrag. *NIBIO POP*, 5(7).
- Brennan, E. B. 2017. Can We Grow Organic or Conventional Vegetables Sustainably Without Cover Crops? *HortTechnology*, 27(2). 151-161.
- Brod, E., Bechmann, M., Øgaard, A.F. 2017. Løst fosfat I jordbruksavrenning – forskjell mellom driftssystemer. *Vann* 1/2017: 47-56.
- Brooker R. W., Bennett A. E., Cong W. F., Daniell T. J., George T. S., Hallett P. D., et al. (2015). Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytol.* 206 107–117. 10.1111/nph.13132.
- Bøe, F., Bechmann, M., Øgaard, A.F., Sturite, I., Brandsæter, L.O. 2019. Fangvekstenes økosystemtjenester – kunnskapsstatus om effekten av fangvekster. *NIBIO Rapport*, 5(9). 56 s.

- Bøe, F. Sturite, I., Lågbu, R., Hegrenes, A., Ring, P.H. 2020. Fangvekster som klimatiltak i Norge. Egned dyrkingsareal, potensiale for klimagassbesparelse, kostnader, barrierer og virkemiddel. NIBIO Rapport, 6(4), 1-50.
- Cameira, M., Mote, M. 2017. Nitrogen Related Diffuse Pollution from Horticulture Production—Mitigation Practices and Assessment Strategies. *Horticulture*, 3(25), p. 1-23.
- Chambers, B.J.; Smith, K.A.; Pain, B.F. 2000. Strategies to encourage better use of nitrogen in animal manures. *Soil Use Manag.*, 16, 157–166.
- Congreves, K.A.; Van Eerd, L.L. 2015. Nitrogen cycling and management in intensive horticultural systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 102, 299–318.
- Congreves, K.A.; Vyn, R.J.; Van Eerd, L.L. 2013. Evaluation of post-harvest organic carbon amendments as a strategy to minimize nitrogen losses in cole crop production. *Agronomy*, 3, 181–199.
- De Neve, S.; Sáez, S.G.; Daguilar, B.C.; Sleutel, S.; Hofman, G. 2004 Manipulating N mineralization from high N crop residues using on-and off-farm organic materials. *Soil Biol. Biochem.*, 36, 127–134.
- De Neve, S.; Pannier, J.; Hofman, G. 1996. Temperature effects on C-and N-mineralization from vegetable crop residues. In *Proceedings of the 8th Nitrogen Workshop*, Ghent, Belgium, 5–8 September; pp. 41–46.
- Everaarts, A.P.; De Moel, C.P.; Van Noordwijk, M. 1996. The effect of nitrogen and the method of application on nitrogen uptake of cauliflower and on nitrogen in crop residues and soil at harvest. *NJAS Wageningen. J. Life Sci.*, 44, 43–55.
- Govers, G.; Poesen, J.; Goossens, D.; Christensen, B.T. 2004. Soil erosion-processes, damages and countermeasures. In *Managing Soil Quality, Challenges in Modern Agriculture*; Schjønning, P., Elmholt, S., Christensen, B.T., Eds.; Institute of Agricultural Sciences: Tjele, Denmark; pp. 199–217.
- Hauge, A., Blankenberg, A.B., Hanserud, O.S. 2008. Evaluering av fangdammer som miljøltiltak i SMIL. *Bioforsk Rapport*, 3(140), 1-43.
- Hauken, M. 2020. Jord- og vannovervåkning i landbruket (JOVA). Feltrapporter fra programmet i 2017. NIBIO Rapport 6(126), 1-54.
- Kværnø, S., Bechmann, M. 2010. Transport av jord og næringsstoffer i overflate- og grøftevann. Sammenstilling av resultater fra rutefelter og småfelter i Norge. *Bioforsk rapport*, 5 (30).
- Li, X.; Hu, C.; Delgado, J.A.; Zhang, Y.; Ouyang, Z. Increased nitrogen use efficiencies as a key mitigation alternative to reduce nitrate leaching in north china plain. *Agric. Water Manag.* 2007, 89, 137–147.
- Morgan, R.P. 1995. *Soil Erosion and Conservation*; Longman Science & Technical: Hoboken, NJ, USA.
- Nett, L.; Feller, C.; George, E.; Fink, M. 2011. Effect of winter catch crops on nitrogen surplus in intensive vegetable crop rotations. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 91, 327–337.
- Refsgaard, K., Bechmann, M., Blankenberg, A. G., Kvakkestad, V., Kristoffersen, A., Veidal, A. 2013. Evaluering av tiltak mot fosfortap fra jordbruksarealer i Norge. Kost-effekt vurderinger. 2013. NILF-rapport;2013-3, Research report, 2013.
- Riley, H., Stubhaug, E., Kristoffersen, A.Ø., Krogstad, T., Guren, G. og Tajet, T. 2012. P-gjødsling til grønnsaker: Evaluering og nye anbefalinger. *Bioforsk Rapport vol. 7 nr. 68*, 44 s. ISBN: 978-82-17-00929-0.
- Rochette, P.; Angers, D.A.; Chantigny, M.H.; Gasser, M.O.; MacDonald, J.D.; Pelster, D.E.; Bertrand, N. 2013. Ammonia volatilization and nitrogen retention: How deep to incorporate urea? *J. Environ. Qual.*, 42,1635–1642.

- Smit, A.L.; de Ruijter, F.J.; ten Berge, H.F.M. 2008. The fate of nitrogen from crop residues of broccoli, leek and sugar beet. In Proceedings of the IV International Symposium on Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetable Production, Alnarp, Sweden, 22–29 September; Volume 852, pp. 157–162.
- Stubhaug, E., Hugh, R., Kristoffersen, A. 2015. P-gjødsling til brokkoli, blomkål, kålrot og isbergsalat. Nye anbefalinger. NIBIO Rapport, 10(14), 1-14.
- Stubhaug, E., Hugh, R., Kristoffersen, A. 2020. P-gjødsling til purre, stिल्selleri og knollselleri. Nye anbefalinger. P-fertilization of leeks, celery and celeriac: New recommendations. NIBIO Rapport, 6(3), 1-17.
- Syversen N. 2002. Effect of a coldclimate buffer zone on minimizing diffuse pollution from agriculture. Water Sci. Technol. 45: 69-76.
- Tei, F., De Neve, S., de Haan, J., Kristensen, H.L. 2020. Nitrogen management of vegetable crops. Agricultural Water Management, 240, pp. 1-13.
- Thorup-Kristensen, K. 2006. Effect of deep and shallow root systems on the dynamics of soil inorganic N during 3-year crop rotations. Plant Soil., 288, 233–248.
- Vannområdet Øyeren 2019. Landbruket kan hjelpe insektene og vannmiljøet. Faktaark april 2019. http://xn--vo-yeren-74a.no/wp-content/uploads/2019/04/Faktaark-april-2019_soner-for-pollinerende-insekter-og-erosjonstiltak-1.pdf
- Vázquez, N.; Pardo, A.; Suso, M.L.; Quemada, M. 2006. Drainage and nitrate leaching under processing tomato growth with drip irrigation and plastic mulching. Agric. Ecosyst. Environ., 112, 313–323.
- Vejchar m.fl. 2017. Influence of tied ridging technology on the rate of surface runoff and erosion in potato cultivation. Agronomy research 15(5), 2207-2216.
- Wang, R., Min, J., Kronzucker, H., Li, Y., Shi, W. 2019. N and P runoff losses in China's vegetable production systems: Loss characteristics, impact, and management practices. Science of the Total Environment, 663, p. 971-979.
- Øgaard, A. F., Kristoffersen, A. Ø. og Bechmann, M. 2016. Utredning av forslag til forskriftskrav om tillatt spredmengde av fosfor i jordbruket. NIBIO Rapport 2/131/2016. 51 s.
- Øygarden, L., Veidal, A., Bechmann, M. 2018. Kostnader og effekter av vannmiljøtiltak i jordbruket - En statusrapport og metode for samfunnsøkonomisk analyse. NIBIO Rapport, 4(36), 1-43.
- Øygarden, L., Bechmann, M., Starkloff, T., Svengård-Stokke, S. 2019. Synergier mellom tiltak for vannmiljø, klimatilpasning og klimagassutslipp. NIBIO Rapport, 5(55), 1-84.

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.