



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Fangvekstenes økosystemtjenester

Kunnskapsstatus om effekten av fangvekster

NIBIO RAPPORT | VOL. 5 | NR. 9 | 2019



Frederik Bøe, Marianne Bechmann, Anne Falk Øgaard, Ilevina Sturite og Lars Olav Brandsæter
Divisjon for miljø- og naturressurser/jordressurser og arealbruk. Divisjon for matproduksjon og
samfunn/Fôr og husdyr. Norges miljø- og biovitenskaplige universitet/Fakultet for
biovitenskap/Institutt for plantevitenskap og Divisjon for bioteknologi og plantehelse/Skadedyr og
ugras

TITTEL/TITLE

Fangvekstenes økosystemtjenester – Kunnskapsstatus om effekten av fangvekster

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Frederik Bøe, Marianne Bechmann, Anne Falk Øgaard, Ievina Sturite og Lars Olav Brandsæter

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILA BILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
21.01.2019	5/9/2019	Åpen	8877	19/00047
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02257-2	2464-1162	53	1	

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Landbruks- og matdepartementet via NIBIOs
kunnskapsutviklingsmidler

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Frederik Bøe

STIKKORD/KEYWORDS:

Fangvekst, miljøtiltak, nitrogen, fosfor, klimagassutslipp
Cover crop, catch crop, environmental measure, nitrogen,
phosphorus, greenhouse gas emissions

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Miljø og jordbruk
Environment and agriculture

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Denne rapporten gir en oversikt over fangvekster og deres effekter på avling, mineralsk nitrogen i jord, karbonbinding, utslipp til vann og luft, jordstruktur, biodiversitet og ugras. Det er fortrinnsvis brukt studier fra Norge og Norden for å øke kunnskapen om fangvekster. Se side 5.

LAND/COUNTRY:

Norge

GODKJENT /APPROVED

JANNES STOLTE

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

MARIANNE BECHMANN



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Som grunnlag for prioriteringer i de regionale miljøprogrammene (RMP) er det behov for økt kunnskap om effekter av miljøtiltakene på vannkvalitet og andre økosystemtjenester. Tiltakene skal gi best mulig måloppnåelse innenfor en rekke miljøtema, herunder avrenning til vann og klimagassutslipp, og minst mulig reduksjon i avling. I denne rapporten er kunnskap om fangvekster og deres effekt på jord, utslipp til luft og vann oppsummert fortrinnsvis på bakgrunn av norsk og nordisk litteratur. Formålet med rapporten er å gi bedre grunnlag for vurdering av miljønytt av fangvekstene. Rapporten er finansiert av Landbruks- og matdepartementet via NIBIO's støtte til kunnskapsutvikling.

Frederik Bøe og Marianne Bechmann har hatt hovedansvaret for utarbeidingen av rapporten med bl.a. sammenstilling av litteratur. Anne Falk Øgaard har bidratt med litteratur, bidrag til vurdering av effekt på erosjon (kapittel 3.6), samt kommentert rapporten. Ievina Sturite har bidratt med utslipp til luft (kapittel 3.9) og kommentert på rapporten. Lars Olav Brandsæter har skrevet om ugras og kommentert rapporten (kapittel 3.11).

Ås, 21.01.19

Marianne Bechmann

Innhold

Sammendrag	5
1 Bakgrunn og innledning.....	8
2 Arter av fangvekster	9
2.1 Undersådde fangvekster	9
2.2 Fangvekster sådd etter høsting	9
3 Effekt på avling	10
4 Opptak av nitrogen i fangvekster	20
4.1 Gras som fangvekst	20
4.2 Kløver som fangvekst.....	21
5 Effekt på mineralsk nitrogen i jord	21
5.1 Mineralsk nitrogen i jorda om høsten	21
5.2 Mineralsk nitrogen i jorda om våren	23
6 Effekt på jordstruktur	24
7 Karbonbinding	25
8 Effekt på erosjon.....	27
9 Avrenning av fosfor	28
10 Avrenning av nitrogen	33
11 Utslipp til luft	38
12 Effekt på biodiversitet	40
13 Ugras.....	40
14 Nasjonale utslipp til vann og luft	43
14.1 Beregnet reduksjon i nitrogentap til vann.....	43
14.2 Beregnet potensial for karbonbinding.....	44
14.3 Beregnede direkte lystgassutslipp.....	44
14.4 Beregnede indirekte lystgassutslipp	44
15 Konklusjon	45
Litteraturreferanse	47
Vedlegg.....	54

Sammendrag

Fangvekster er et av de tiltakene som det blir gitt tilskudd til i områder med åpen åker gjennom de regionale miljøprogrammene (RMP). Fangvekster er her definert som vekster som såes for å ta opp næringsstoffer og beskytte jorda mot erosjon og avrenning av næringsstoffer etter at hovedveksten er høstet. Fangvekstene såes enten om våren på om lag samme tid som hovedveksten eller rett etter høsting av tidligvekster. I utgangspunktet brukes fangvekster på kornarealer for å redusere nitrogenavrenningen, men fangvekstene har synergier med flere andre økosystemtjenester. Økosystemtjenestene som inngår i denne rapporten omfatter matproduksjon og vannkvalitet, klimagassutslipp, karbonbinding, redusert erosjon, jordkvalitet, biomangfold og ugraskontroll.

Resultatene fra norske og nordiske studier av fangvekster viser at særlig flerårig raigras har egenskaper som er passende for det norske klimaet. Flerårig raigras er frosttolerant og kan vokse selv ved forholdsvis lave temperaturer, den påvirker **avlingen av hovedkulturen** lite (avlingsreduksjon på < 3 % ved såmengde 0,7 til 1,0 kg/daa) og reduserer i gjennomsnitt **utvaskingen av nitrogen** med rundt 50 %. Forsøk har vist at såing samtidig med kornet gir bedre etablering enn såing 3-4 uker senere. Fangvekst av italiensk raigras (to-årig) fungerer også bra som fangvekst ved at den tar opp mye nitrogen og den reduserer **jordas innhold av mineralsk nitrogen** mer enn flerårig raigras, men den konkurrerer bedre med kornet og gir dermed større avlingsreduksjon. Fangvekster bidrar også til å **redusere erosjon** og jordtap ved å stabilisere jorda, bremse vannhastigheten og øke infiltrasjonen. Det er få forsøk og varierende resultater for effekten av fangvekster på **tap av fosfor**. På lokaliteter med høye fosfortap på grunn av mye erosjon kan fangvekster redusere tap av partikkelbundet fosfor. På lokaliteter med forholdsvis lave fosfortap har fangvekster av gras imidlertid gitt alt fra en reduksjon i fosfortap på 43 % til en økning på 86 %. Fosfortap som skyldes utfrysing av fosfor fra plantene er avhengig av været om vinteren, inkludert antall fryse-tine sykluser, snødekke og frosttemperatur og er dessuten avhengig av fosforinnholdet i plantemassen. Fangvekster **binde karbon** ved å tilføre biomasse til jorda og det er særlig røttene som er viktige. I tillegg kan fangvekster med dyptvoksende røtter som luserne og sikori ha en **jordløsnende effekt** og løse opp pakkeskader. Økt organisk innhold i jorda gir økt mikrobiell aktivitet. Dette kan blant annet føre til bedre jordstruktur. Fangvekster vil også øke **variasjonen av vekster**, og dermed kunne tiltrekke seg mer insekter og fugler. Fangvekster kan redusere mengden **ugras**. Studier tyder på at fangvekst av gras reduserer ugraset mer enn fangvekster av belgvekster. **Utslipp av lystgass** (N₂O) ved bruk av fangvekst varierer i ulike studier. En dansk studie viser lavere utslipp fra fangvekster av flerårig raigras sammenlignet med stubb uten fangvekst. Utslipp av lystgass fra belgvekster var i en norsk studie større enn fra gras. Dersom fangvekster erstatter tilført nitrogen i mineralgjødsel vil dette bidra til å redusere utslipp av lystgass ved gjødselproduksjon.

Flere studier er nødvendig for å kunne gi en samlet effekt ved bruk av fangvekster i norsk landbruk, men resultatene tyder på at fangvekst som miljøtiltak gir flere økosystemtjenester. Det er imidlertid behov for økt kunnskap, særlig om effekt på karbonlagring, utslipp av lystgass, fosfortap og biodiversitet. Muligheten for å benytte fangvekstene til biodrivstoff kan dessuten bli et aktuelt forskningstema ved økt satsing på bioøkonomi.

Sammendragstabell 1. Fangvekstenes effekt på avling, jord, utslipp til vann og luft og årsaker til variasjoner.
Fangvekstenes effekt er presentert som positiv (+) og negativ (-).

Variabel	Effekt	Beskrivelse	Årsaker til variasjoner
Effekt på avling i hovedveksten	-	< 3 % avlingsreduksjon ved såmengde 0,7 til 1,0 kg/daa ved bruk av flerårig raigras.	Valg av art, sort og såmengde. Flerårig raigras gir mindre avlingsnedgang i korn enn italiensk raigras.
	+	Belgvekster kan øke avlingene.	
Avrenning av nitrogen	+	Reduserer tapet av nitrogen med rundt 50 % ved flerårig raigras.	Valg av art, vær og klima. Fangvekstenes spiring og vekst varierer fra år til år med været. Kan forekomme tap fra overjordisk plantemasse om vinteren. Italiensk raigras vokser raskere, dekker bedre og har raskere opptak av nitrogen enn flerårig raigras. Den største effekten oppnås på jord med stor risiko for nitrogenutvasking, f.eks. sandjord og jord med høyt moldinnhold (Aronsson m.fl., 2016).
	-	Belgvekster kan øke tapet av nitrogen. Tap også fra fangvekster av gras ved utfrysing av plantemateriale om vinteren .	
Avrenning av fosfor	-/+	Kan både redusere og øke tapet av fosfor	Fosfortapet som skyldes utfrysing fra plantematerialet er avhengig av været på vinteren, inkludert antall fryse-tine sykluser, snødekke og frosttemperatur og er dessuten avhengig av mengden fosfor i plantemassen. Høyere fosforstatus i jorda gir høyere fosforinnhold i graset og større fosfortap ved avrenning etter utfrysing av fosfor. Høsting av fangvekst kan bidra til å redusere fosfortapet. Fangvekst reduserer tapet av partikkelbundet fosfor.
Jordtap	+	Reduserer erosjon. Røttene stabiliserer jorda, mens overjordiske plantedeler bremser hastigheten på avrenningen og øker infiltrasjonen	Fangvekstenes evne til å redusere erosjon avhenger av plantedekket og røttenes utvikling. Fangvekstenes spiring og vekst varierer fra år til år.
Karbonbinding	+	Binder karbon (Potensielt 32 kg/daa årlig ved flerårig raigras).	Avhenger av art og biomassen til fangveksten. Fangvekster av grasarter er generelt bedre egnet til å øke karboninnholdet enn belgvekster grunnet en langsommere nedbrytning av plantematerialet. Behov for økt kunnskap under norske forhold.
Jordstruktur	+	Fangvekster kan forbedre aggregatstabilitet, porevolum og redusere jordtetthet.	Valg av fangvekstart. Dyptvoksende røtter kan løsne jordpakking.
Utslipp av lystgass	-/+	Direkte lystgassutslipp varierer. Mer tap fra belgvekster enn gras.	Vinterforhold, opptak i plantene, mineralsk nitrogen i jord. Behov for økt kunnskap under norske forhold.

Variabel	Effekt	Beskrivelse	Årsaker til variasjoner
Utslipp av CO ₂	+	Reduserer netto utslipp av CO ₂ ved å binde karbon.	Avhenger av art og biomassen til fangveksten.
Ugras	+	Fangveksten kan i ulik grad redusere ugrasveksten.	Ugraset reduseres gjennom konkurranse, men kan også skyldes at visse fangvekstarter avgir veksthemmende stoffer (allelopatisk virkning). Studier tyder på at fangvekster av grasarter reduserer ugraset mer enn hva belgvekster gjør. Blandinger av gras og belgvekster gir mer konsekvent ugraskontroll enn i renbestand.

1 Bakgrunn og innledning

Fangvekster som begrep ble først omtalt av Richard Parkinson i 1799. Parkinson påpekte viktigheten av å ha plantedekke på jordbruksarealene året rundt. Tradisjonelt er fangvekster benyttet for å ta opp nitrogen og dermed redusere tapene gjennom utvasking og avrenning, samt for å beskytte jorda om høsten og vinteren mot jord- og fosfortap (Reeves, 1994). De største tapene av jord og næringsstoffer til vann måles fra åpen åkerarealer med korn og grønnsaksvekster i Norge (Bechmann m.fl. 2017).

Fangvekster er et av de tiltakene som det har vært gitt tilskudd til i områder med åpen åker gjennom de regionale miljøprogrammene (RMP). Fangvekster er her definert som vekster som såes for å ta opp næringsstoffer og beskytte jorda mot erosjon og utvasking etter at hovedveksten er høstet.

Fangvekstene såes enten på våren på om lag samme tid som hovedveksten eller rett etter høsting av tidligvekster. Det er også forsøkt såing av fangvekst i korn to uker før tresking.

I rapport for fastsettelse av instruks for regionale miljøtilskudd datert 23. november 2018 er instruks til Fylkesmannens utforming av de regionale forskriftene gitt (Landbruksdirektoratet, 2018). Det fremgår i §31 at innsåing av fangvekster sammen med korn, oljevekster og belgvekster er tilskuddsberettiget på arealer der det også gis tilskudd til 'ingen jordarbeiding'. Videre er det gitt føringer om at fangveksten ikke skal være hovedvekst året etter og at arealet verken skal gjødsles eller sprøytes om høsten. I § 32 fremgår det at fangvekster sådd etter høsting av grønnsaker, poteter eller rotgrønnsaker er tilskuddsberettiget dersom fangveksten ikke er hovedvekst påfølgende år, samt at arealet ikke sprøytes og ikke gjødsles om høsten. Det kan tillates sprøyting i vekstsesongen (mot floghavre, hønsehirse og svartsøtvier). I instruksen er det også åpnet opp for at Fylkesmannen kan sette en annen frist etter 20. oktober for jordarbeiding slik at en sikrer en tidlig start på våronna. Videre gis det anbefalinger om at innholdet av belgvekster i frøblandingene ikke må være for høyt. Det er ikke krav om at fangvekstarealene skal høstes eller slås før vinteren.

Tilskuddet til fangvekster økte betydelig fra 1998 og bruken av fangvekster i Norge henger ganske nøye sammen med tilskuddsnivået. Tall fra NIBIOs overvåkingsfelt Mørdre (1998-2006) viser at fangvekstarealet her økte med tilskuddsatsene, men først etter at en informasjonskampanje ble satt i gang i 1999 (Bechmann m.fl., 2008). Nasjonalt var fangvekstarealet særlig stort sesongen 2002/2003 (350 000 daa eller 10% av kornarealet), som var året med det høyeste tilskuddsnivået (Stabbetorp, 2014; Bye m.fl., 2017). Tilskuddene ble redusert fra 2002 (Strand, 2017) og i 2015/2016 var arealet med fangvekster redusert til 21 000 daa eller 0,8 % av kornarealet.

Ved rullering av de regionale miljøprogram i 2018/2019 blir det lagt vekt på evaluering av fangvekstenes effekt på utslipp til både vann og luft. Dessuten vil andre effekter av fangvekstene, f.eks. effekt på avling, bli vektlagt i vurderingen av tilskuddene. I denne oppsummeringen av kunnskapsstatus ved bruk av fangvekster er det inkludert kunnskap om både gras og belgvekster, og effekter av fangvekster på følgende tema er belyst:

- Avling av hovedveksten
- Opptak av nitrogen i fangveksten
- Mineralsk nitrogen i jord
- Jordstruktur
- Karbonbinding
- Erosjon - jordtap
- Avrenning av fosfor
- Avrenning av nitrogen
- Utslipp til luft
- Biodiversitet
- Ugras

Disse temaene er en del av fangvekstenes økosystemtjenester. Økosystemtjenester er goder og tjenester som økosystemer gir oss. Miljødirektoratet definerer de fire hovedkategoriene som *forsyningstjenester* som f.eks. matproduksjon og vann, *reguleringstjenester* som f.eks. beskyttelse mot flom og erosjon, *kulturelle tjenester* som er opplevelser basert på ikke-materielle goder og *støttende tjenester* som inkluderer blant annet basisfunksjoner i økosystemer. Temaene belyst i denne rapporten kan grupperes inn under kategoriene forsyningstjenester (matproduksjon og vannkvalitet) og reguleringstjenester (karbonbinding, erosjonsdemping, klimagassutslipp, jordkvalitet, biomangfold og ugraskontroll).

Klimaendringer som gir økt mengde nedbør og nedbørsintensiteter vil gi økt risiko for avrenning og økt behov for tiltak som kan redusere erosjon og næringsstofftap. Dessuten kan det skje en endring i antall fryse- og tineepisoder, noe som kan føre til endret risiko for erosjon og tap av næringsstoffer (Mellander m.fl., 2007). Etablering av fangvekster er et tiltak som kan være med på å takle miljøutfordringene, men andre effekter av fangvekstene må også vurderes. De spesielle forholdene i Norge med kort vekstsesong og frysing-tining krever at vurdering av effekten av fangvekster baseres på forhold tilsvarende norske forhold for å kunne evaluere sumeffekten av fangvekster. Denne rapporten tar for seg fangvekster i et multifunksjonelt perspektiv, det vil si fangvekstenes økosystemtjenester, med utgangspunkt i studier gjennomført i Norden.

2 Arter av fangvekster

2.1 Undersådde fangvekster

Fangvekster som sås sammen med hovedveksten, også kalt undersådde fangvekster, har ideelt egenskaper som gjør at de ikke konkurrerer for mye med hovedveksten. Flere grastyper har blitt testet ut og særlig *Lolium* artene: ettårig- (westerwoldsk), toårig- (italiensk) og flerårig raigras (engelsk) har blitt undersøkt. De latinske navnene på fangvekstene finnes i vedlegg 1. I motsetning til to- og flerårig raigras, overvintrer ikke ettårig raigras, men dør ut om vinteren. Andre grasarter som er prøvd ut i Norge er hundegras, timotei og engsvingel. Det er generelt enklere å etablere et dekke av raigras fremfor hundegras, timotei og engsvingel (Molteberg & Tangsveen, 2004). Disse artene etablerer seg noe saktere (Känkänen & Eriksson, 2007; Valand m.fl., 2018) og er mindre effektive til å ta opp nitrogen (N) om høsten. Valg av kornart har betydning for etablering av fangveksten. Det er vanskeligere å få et godt fangvekstbestand i havre enn i bygg og vårhvete (Molteberg m.fl., 2004).

Belgvekster som undervekst i korn er tradisjonelt brukt i økologisk korndyrking (Fløistad & Munthe, 2007). Der dyrkes de på grunn av forgrøde/grønnngjødslingseffekten, som består i at de gir økt nitrogeninnhold i jorda før neste vekst. Nitrogenfikserende vekster som er prøvd ut under nordiske forhold er for eksempel lodnevikke, tiriltunge, samt ulike kløverarter som blodkløver og hvitkløver.

En kombinasjon av ulike fangvekster kan gi fordeler. Blant annet viste Känkänen & Eriksson (2007) at en blanding av italiensk raigras og timotei reduserte innholdet av mineralsk nitrogen i jorda effektivt ved at italiensk raigras tok opp mye nitrogen om høsten og timotei på våren. Det har blitt prøvd ut flere blandinger som hvitkløver og raigras, men også blandinger bestående av lodnevikke, honningurt, blodkløver og raigras (Pionerblanding).

2.2 Fangvekster sådd etter høsting

Fangvekster som sås etter høsting av tidligkulturer av poteter og grønnsaker må ha egenskaper som gjør at vekstene etableres raskt. Dette er på grunn av lave lufttemperaturer og begrensede lysforhold

på slutten av vekstsesongen. For fangvekster som sås etter tidligkulturer av poteter og grønnsaker er det blitt testet ut blant annet reddik, honningurt, tiriltunge, sikori, luserne og fôrvikke (Vestfold forsøksring). I en studie av Brandsæter m.fl. (2008) ble flere belgvekstarter sådd etter grønnsaker. Forfatterne konkluderte med at lodnevikke og blodkløver viste god vinteroverlevelse og er dermed egnet under norske forhold. Det er fordeler og ulemper med god vinteroverlevelse. Fordeler er at fangvekster i vekst tar opp nitrogen gjennom vinteren, men ulempen kan være økt risiko for ugras påfølgende vekstsesong.



Figur 1. Fra venstre: Raigras, engsvingel og rødkløver og hvitkløver. Foto: Fra venstre: Marianne Bechmann, Steffen Adler og Erling Fløistad.

3 Effekt på avling

Molteberg m.fl. (2005) rapporterte fra det fireårige prosjektet «Bruk av fangvekster i kornomløp» en reduksjon i kornavlingene mellom 0-12 % avhengig av kornart, fangvekst og vekstforhold. Tabell 1 viser effekten av et utvalg av grasarter på kornavlinger. Det ser ut til at bruk av engelsk raigras reduserer avlingene i mindre grad (2-3%) enn italiensk raigras (4-7%). Studien viser også innbyrdes forskjell på bruk av sorter av italiensk raigras der sorten 'Fredrik' reduserte avlingene i mindre grad, samt var mer vinterherdig enn den mer vanlige sorten 'Macho'. Timotei, hundegras og engsvingel konkurrerte med kornet i mindre grad enn italiensk raigras. Tabell 3 i slutten av avsnittet viser en oversikt over studier på effekten av undersådde fangvekster på kornavling.

Tabell 1. Effekt av utvalgte fangvekster på avling. Totalt 21 felt i årene 2000-2003. Grasavling (kg tørrstoff/daa er oppgitt som fangvekster uten halmstubb i 19 felt. Fra Molteberg & Tangsveen (2004)

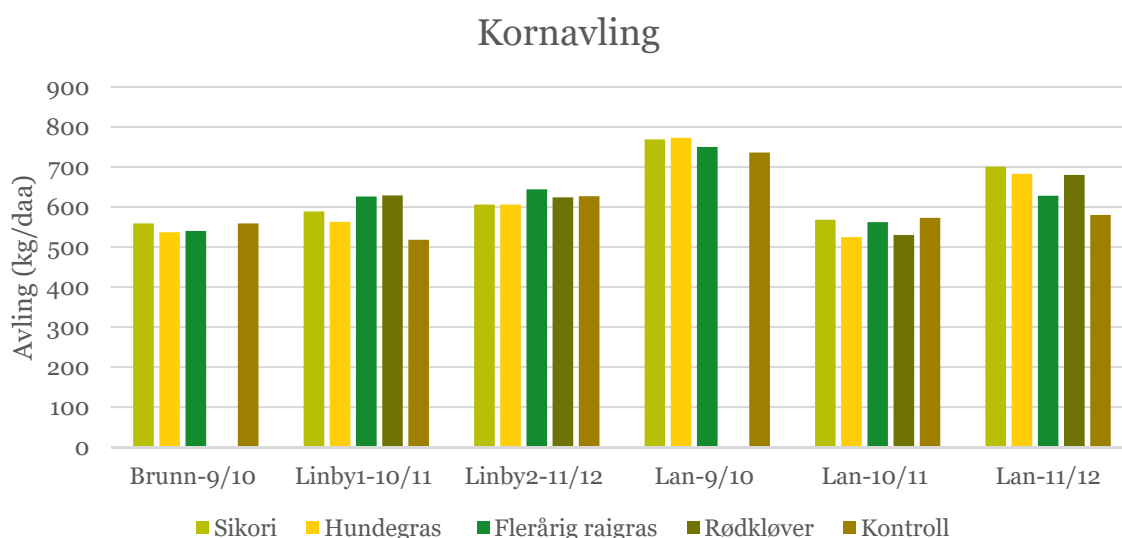
Fangvekst (sort)	Kornavling		Dekningsgrad fangvekst i aug.	Dekningsgrad fangvekst i okt.	Grasavl.
	kg/daa	Relativ avling	%	%	kg/daa
Uten fangvekst	461	100	0	0	0
Flerårig raigras (Trani)	453	98	36	70	81
Flerårig raigras (Napoleon)	447	97	39	73	88
Italiensk raigras (Macho)	430	93	51	84	117
Italiensk raigras (Fredrik)	442	96	48	80	96
Hundegras (Apelsvoll)	451	98	32	52	44
Engsvingel (Fure)	458	99	19	32	33
Timotei (Gringstad)	460	100	33	54	61

Henriksen m.fl. (2007) undersøkte fangvekster av italiensk raigras i et lysimeterforsøk på Ås (Norge) og rapporterte om en noe høyere nedgang i kornavlingene (-15 %) ved bruk av fangvekster. Forfatterne påpekte, som Molteberg m.fl. (2005) at den italienske raigras sorten «Macho» har høy konkurranseevne og kan være årsak til nedgangen i kornavling.

Lyngstad & Børresen (1996) fant en noe lavere reduksjon på mellom 2 til 12 % med italiensk raigras undersådd over flere år.

Ohlander (1996) viste at den gjennomsnittlige avlingsreduksjonen i Sverige var på mindre enn 1% da flerårig raigras ble undersådd, men 6 % da italiensk raigras ble undersådd i bygg.

Liu m.fl. (2015) undersøkte også ulike fangvekster undersådd i bygg i sørvest og sentral Sverige. Avlingene varierte fra 520 til 740 kg/daa uten fangvekster, og mellom 530 til 770 kg/daa der fangvekster ble sådd (+1,9 til 4%). Figur 1 viser et eksempel fra et forsøk der det er liten forskjell på byggavlingene undersådd med ulike fangvekster sammenlignet med kontroll uten fangvekster.



Figur 1. Gjennomsnittlig biomasse av byggavlingene i ruter undersådd med sikori, hundegras, flerårig raigras og rødkløver sammenlignet med kontroll uten fangvekst. Rødkløver ble ikke sådd i Brunnby og Lanna i 2009/2010. Fra venstre til høyre: Brunnby sesongen 2009/2010, Linnés Hammarby i 2010/2011 og 2011/2012 og Lanna i 2009/2010, 2010/2011 og 2011/2012. Fra Liu m.fl. 2015.

I en finsk studie av Lemola m.fl. (2000) reduserte italiensk raigras avlingene av bygg i leirholdig og siltdominert jord med henholdsvis 1 og 6 %. Känkänen m.fl. (2001) undersøkte effekten av undersådd westerwolds raigras på avlingene i to forsøksområder over seks sesonger sør i Finland. Forfatterne rapporterte at westerwolds raigras reduserte kornavlingene. Känkänen & Eriksson (2007) rapporterte fra studier sørvest i Finland at westerwoldsk og italiensk raigras reduserte avlingene mye når høy såmengde ble benyttet. I snitt for fem år reduserte westerwoldsk raigras og italiensk raigras byggavlingene med henholdsvis 4 % og 5 % ved lav såmengde (200 fangvekstfrø m⁻²), men med 10 % og 11% ved standard såmengde (400 fangvekstfrø m⁻²). Forfatterne av studien fant derimot at timotei undersådd i korn gav tilsvarende avlinger som uten fangvekst ved lav såmengde.

I en meta-analyse av Valkama m.fl. (2015) med 35 studier i Danmark, Sverige, Finland og Norge ble det funnet at fangvekster av gras reduserer kornavlingene i snitt med 3 %. Det var ingen forskjell mellom raigrassorter (p=0,205) eller kløverarter (p=0,656). Det var heller ingen forskjell på effekten

fangvekstene hadde på avlingene mellom de nordiske landene ($p=0,459$), for årlig nedbør ($p=0,509$) eller såmengden av fangvekster ($p=0,736$). Sammenlignet med kontroll uten fangvekst varierte effekten av fangvekster av gras mellom jordtyper fra -8 % i lettleire, -1 % i leire og ingen signifikant endring i sandig jord.

Studiene ovenfor viser at en reduksjon i kornavlingene normalt vil ligge på mindre enn 3 % for flerårig raigras, men mellom 5 og 15 % for ettårig- og italiensk raigras.

Det er noe forskjell i effekt av fangvekster på ulike kornarter. Molteberg & Tangsveen (2003) rapporterte at reduksjon i avlingene var størst i hvete og 2-radsbygg, mens i 6-radsbygg og havre ble avlingene i mindre grad redusert (tabell 2). Engelsk flerårig raigras egnet seg bedre enn italiensk raigras i vårhvete og 2-radsbygg. Timotei som fangvekst konkurrerte mye med korn i disse forsøkene. Byggavlingen ble redusert opp til 10-12 %.

Tabell 2. Effekt av fangvekster på ulike kornarter. Sammendrag av 6 felt i 2002. Fra Molteberg & Tangsveen (2003) It = italiensk raigras forkortet i tabellen

		Kornavling	
Såmåte fangvekst (raigras)		Kg/daa	Rel.
Uten fangvekst		439	100
Italiensk egen såing*		428	97
Italiensk – blanding m/kornet		428	97
Flerårig – blanding m/kornet		433	99
Kornart	Såmåte		
6r-bygg	Uten fangvekst	414	100
	It.- egen såing	408	99
	It. – i blanding	403	97
	Fl.- i blanding	403	97
2r-bygg	Uten fangvekst	474	100
	It.- egen såing	454	96
	It. – i blanding	456	96
	Fl.- i blanding	460	97
Havre	Uten fangvekst	502	100
	It.- egen såing	488	97
	It. – i blanding	497	99
	Fl.- i blanding	505	101
Vårhvete	Uten fangvekst	368	100
	It.- egen såing	362	98
	It. – i blanding	354	96
	Fl.- i blanding	365	99

* Ved egen såing ble fangveksten sådd kort tid etter såing av kornet

Molteberg & Tangsveen (2004) fant liten påvirkning av fangvekster på hektolitervekten og 1000-kornvekten, samt vannprosenten i korn. Proteinprosenten hadde derimot en tendens til nedgang. I Valkama m.fl (2015) ble syv studier av kornkvalitet sammenlignet. Kontroll mot fangvekster av gras viste ingen signifikant effekt på nitrogenkonsentrasjon i kornet (+2%).

Børresen & Eltun (1993) undersøkte i tillegg til italiensk raigras, også hvitkløver og en blanding av italiensk raigras og hvitkløver. Deres undersøkelser ble gjennomført på Apelsvoll og Staur i Hedmark. I tillegg undersøkte de ulike gjødslingsgrad og pløyetidspunkt. Resultatene for ruter med (6 eller 12 kg N/daa) og uten nitrogengjødsling viste at i det første forsøksåret ble kornavlingene redusert (fra -3 til -22 %) for alle fangvekster bortsett fra hvitkløver på Staur der ruter uten gjødsling ga like store avlinger som for ruter uten fangvekst, men avlingene var veldig lave på dette feltet. Det andre forsøksåret ble kornavlingene (bygg) på Apelsvoll redusert ved bruk av italiensk raigras sammenlignet med ruter uten fangvekst bortsett fra ruter gjødslet med 12 kg N/daa som ga tilsvarende avling som uten fangvekst (ca. 550 kg/daa). En blanding av raigras og hvitkløver ga økt avling (+90 kg/daa) for ruter som ikke ble gjødslet. Her har hvitkløver gitt en gjødslingseffekt ved å fiksere nitrogen fra atmosfæren. Det andre året hadde hvitkløver en positiv effekt på avlingene i alle ruter, men kløvereffekten ble redusert ved økende gjødslingsgrad. På Staur i Hedmark ga blandingen av hvitkløver og raigras en liten nedgang i hvetavlingen begge årene (hhv. -20, -80 kg/daa). Italiensk raigras reduserte hvetavlingene i større grad, men reduksjonen ble mindre ved økende gjødslingsgrad.

Hiitola & Eltun (1996) rapporterte resultater fra Apelsvoll etter syv år med forsøk. Gjennom forsøksperioden ga en blanding av raigras og hvitkløver høyere kornavling enn uten fangvekst for alle gjødslingsnivå (bare signifikant forskjell for gjødslingsnivå 0 og 6 kg N/daa). Bruk av italiensk raigras alene undersådd i korn hadde en positiv effekt på avlingen fra fjerde til syvende forsøksår for alle gjødslingsnivå, men resulterte i snitt over 7 år en noe lavere avling enn ledd uten fangvekst (ingen signifikant forskjell). Bruk av hvitkløver som fangvekst ga i snitt 80 kg/daa høyere avling enn uten fangvekst. Ved tilførsler av 12 kg N/daa påvirket fangvekstene avlingene lite. Kornavlinger undersådd med italiensk raigras var da omtrent like store som avlinger uten fangvekst.

I Løes m.fl. (2011)s studie på Apelsvoll og Kise (økologisk drift) med flerårig raigras, hvitkløver og rødkløver var det ingen signifikant forskjell de enkelte åra mellom kornavlingene undersådd med flerårig raigras sammenlignet med avlingene uten fangvekst. Ser en de fire åra sammen var det en trend til økte avlinger på Apelsvoll med raigras som undervekst (6%), men synkende på Kise (-2%). Forfatterne pekte på tørrere jordforhold på Kise som førte til større konkurranse fra raigraset.

Breland (1996a) rapporterte om en reduksjon på 6 til 17 % i avlingene undersådd med italiensk raigras (såmengde: 3 kg/daa) i ruter gjødslet med nitrogen, sammenlignet med kornavlinger uten fangvekst. Bruk av kløver resulterte i alt fra en reduksjon på 16 % til økning på 10%.

Børresen & Eltun (1993) og Breland (1996a) viser at avlingsreduksjonen med undersådd italiensk raigras kan redusere avlingene ytterligere ved 0 eller lav gjødsling. En del av forsøkene har i tillegg høy såmengde som kan gjøre konkurransen med kornet større.

I en del studier er det også undersøkt hvilken effekt fangvekstene har på kornkvaliteten. I studien til Hiitola & Eltun (1996) påvirket fangvekstene hektolitervekt og 1000-kornvekt lite. Tilsvarende fant Børresen & Eltun (1993) ingen effekt av italiensk raigras, hvitkløver og blanding av de to på hektolitervekt og 1000-kornvekt det første forsøksåret. Det andre året reduserte raigras hektolitervekta og 1000-kornvekta, mens hvitkløver førte til økte verdier.

Tabell 3. Effekt av fangvekster på avling i absolutte (kg/daa) og relative verdier (%) ved ulike gjødslingsnivå for ulike fangvekster sammenlignet med vårkorn uten fangvekst, samt informasjon om forsøket. Fangvekstene er sådd samtidig med kornet eller noen dager etterpå. Signifikante forskjeller (s.f) er notert der informasjon er tilgjengelig.

Fangvekst	Land	Jordtype	Gjødslingsnivå	Avlingsendring av hovedvekst		Info om forsøket (varighet, såmengde m.m.)	Referanse
			kg N/daa	Kg/daa	%		
Flerårig raigras	Østlandet, Norge		Antatt norm. gjødsling	-14 til -7	-2-3 %	Gjennomsnitt av 21 felt og 4 år. Reduksjonen er størst for sorten Napoleon (s.f) og minst for Trani (i.s).	Molteberg & Tangsveen (2003) Molteberg & Tangsveen (2004) Molteberg m.fl. (2005)
It. Raigras				-31 til -19 (s.f)	-4-7%	Gjennomsnitt av 21 felt og 4 år. Reduksjonen er størst for sorten 'Macho' og minst for 'Fredrik'.	
Hundegras				-10 (s.f)	-2%	Usikker som fangvekst. Vanskeligere å få god dekningsgrad sammenlignet med timotei og raigras. Tar opp mindre N om vinteren enn fl. raigras (Känkänen & Eriksson, 2007).	
Engsvingel				-3 (i.s)	-1%	Usikker fangvekst.	
Timotei				-1 (i.s)	1-2% (10-12%)	Kan konkurrere med kornet. Resultat i parentes er mulig avlingsreduksjon i bygg. Lavere N opptak om høsten enn raigras.	
It. raigras (Macho)	Ås, Norge				-15%	Lysimeterforsøk	Henriksen m.fl. 2007
It. raigras	Apelsvoll	Moreneletteire	0	-80	-25%	Resultat er presentert som gjennomsnitt av 2 år på hhv. Apelsvoll og Staur i Hedmark. Såmengder for it. raigras var 2,5 kg/daa, 1 kg/daa for hvitkløver og i blandingen 0,5 kg/daa	Børresen & Eltun 1993*
			6	-50	-10%		
			12	-30	-6%		
Hvitkløver	Apelsvoll	Moreneletteire	0	+70	+21	og i blandingen 0,5 kg/daa hvitkløver og 1 kg/daa it. raigras første året. Det andre året var såmengdene i blandingen 0,25 kg/daa for hvitkløver og 0,5 kg/daa for it. raigras.	
			6	+30	+6		
			12	0	0%		

Fangvekst	Land	Jordtype	Gjødslingsnivå	Avlingsendring av hovedvekst		Info om forsøket (varighet, såmengde m.m.)	Referanse
			kg N/daa	Kg/daa	%		
Bl. It. raigras og hvitkløver	Apelsvoll	Moreneletteire	0	+12,5	+4%	Resultat er presentert som gjennomsnitt av 2 år på hhv. Apelsvoll og Staur i Hedmark. Såmengder for it. raigras var 2,5 kg/daa, 1 kg/daa for hvitkløver og i blandingen 0,5 kg/daa hvitkløver og 1 kg/daa it. raigras første året. Det andre året var såmengdene i blandingen 0,25 kg/daa for hvitkløver og 0,5 kg/daa for it. raigras.	Børresen & Eltun 1993*
			6	-12,5	-3%		
			12	-20	-4%		
It. raigras	Staur, Hedmark	Moreneletteire	0	-170	-45%		
			6	-130	-29%		
			12	-90	-18%		
Hvitkløver	Staur, Hedmark	Moreneletteire	0	+19	+5%		
			6	+5	+1%		
			12	-31	-6%		
Bl. It. raigras og hvitkløver	Staur, Hedmark	Moreneletteire	0	-46	-12%	Resultat er presentert som gjennomsnitt av 7 år. Såmengde det første året var var 2,5 kg/daa for it. raigras, 1 kg/daa for hvitkløver. I blandingen var mengdene 0,5 kg/daa for hvitkløver og 1 kg/daa it. raigras første året. Det andre året ble såmengdene i blandingen halvert. Fangvekstene ble undersådd i bygg alle år. It. raigras fikk økt avling fra 4.-7. år ved 0 gjødsling.	Hiitola & Eltun 1996*
			6	-66	-15%		
			12	-56	-11%		
It. raigras	Apelsvoll	Moreneletteire	0	-47 (i.s)			
			6	i.s			
			12	i.s			
Hvitkløver	Apelsvoll	Moreneletteire	0	+ 80 (s.f)			
			6	+40-50* (s.f)			
			12	+0-10* (i.s)			
It. raigras og hvitkløver	Apelsvoll	Moreneletteire	0	+30-40* (s.f)			
			6	+0-10* (s.f)			
			12	0 (i.s)			
Alle fangvekster	Apelsvoll	Moreneletteire	12		Ingen effekt på avlingen		

Fangvekst	Land	Jordtype	Gjødslingsnivå		Avlingsendring av hovedvekst		Info om forsøket (varighet, såmengde m.m.)	Referanse
			kg N/daa		Kg/daa	%		
It. raigras	Ås og Høye, Marnadalen	Lettleire og sandig lettleire	6 og 12			-6-17 %	Forsøket i Ås gikk over to år i to forskjellige felt. 1 forsøk ble gjennomført i Høye over 1 år. Fangvekstene ble pløyd ned i slutten av oktober. Det ble sådd vårhvete i begge felt på Ås og vårbygg i Høye.	
Kløver	Ås og Høye, Marnadalen	Lettleire og sandig lettleire	6 og 12			-16-+10%		
It. raigras	Ås	Lettleire	0		-18	-12%	Resultat fra 1. år. Såmengde for hvitkløver var 2 kg/daa og 3 kg/daa for it. raigras	
			6		-35	-13%		
			12		-32	-13%		
Kløver	Ås	Lettleire	0		-38	-26%		
			6		-24	-9%		
			12		-21	-8%		
It. raigras	Ås	Lettleire	0		-7	-6%	Resultat fra 2. år. Såmengdene for it. raigras var 3 kg/daa og 1,5 kg/daa for hvitkløver	Breland 1996a*
			6		-32	-17%		
			12		-30	-15%		
Hvitkløver	Ås	Lettleire	0		-35	-33%		
			6		-32	-18%		
			12		-30	-15%		
It. raigras	Høye	Sandig lettleire	0		-24	-25%	Resultat 1. år. Såmengdene for it. raigras var 3 kg/daa og 2 kg/daa for hvitkløver.	
			5		-29	-14%		
			10		0	0%		
Hvitkløver	Høye	Sandig lettleire	0		1	0%		
			5		0	0%		
			10		+35	+15%		

Fangvekst	Land	Jordtype	Gjødslingsnivå	Avlingsendring av hovedvekst		Info om forsøket (varighet, såmengde m.m.)	Referanse
				kg N/daa	Kg/daa		
It. raigras	Sørås	Siltig mellomleire			-2-12%	3 år	Lyngstad & Børresen 1996
Flerårig raigras (Tove)	Apelsvoll	Sandig lettleire	0	+20	+6% (i.s)	Resultat presentert som gjennomsnitt av 3 år. Såmengde for fl. raigras var 1 kg/daa og 0,5 kg/daa for hvitkløver. Blandingen av rødkløver og fl. raigras hadde såmengder hhv. 0,7 kg/daa og 1 kg/daa.	Løes m.fl. 2011*
Hvitkløver				+43	+16% (s.f)		
Bl. raigras og rødkløver				+35	+14 % (i.s)		
Flerårig raigras (Tove)	Kise	Lettleire	0	-14	-2% (i.s)		
Hvitkløver				+57	+21% (s.f)		
Bl. raigras og rødkløver				+57	+21% (s.f)		
It. raigras	Säby	Lettleire	8		-3 %	Resultat oppgitt som gjennomsnitt av 2 år. Såmengden for raigras var 1,8 kg/daa og 1 kg/daa for rødkløver.	Ohlander 1996
Fl. raigras					0%		
Rødkløver					-3%		
It. raigras	Tönnersa	Sandig	8		-8%		
Fl. raigras					-3%		
Rødkløver					-4%		

Fangvekst	Land	Jordtype	Gjødslingsnivå	Avlingsendring av hovedvekst		Info om forsøket (varighet, såmengde m.m.)	Referanse
			kg N/daa	Kg/daa	%		
Fl. raigras	Lanna, Sverige	Leire	10-11	-42 (s.f)	-11%	Resultat fra første år. Vårbygg. Glyfosat ble sprøytet om høsten (okt) og fangveksten pløyd ned om våren (apr) sammenlignet med uten fangvekst og sprøyting om høsten og pløying om våren.	Aronsson m.fl. (2011)
				-33 (s.f)	-9%	Resultat fra første år. Vårbygg. Glyfosat ble sprøytet om høsten (okt) og fangveksten pløyd ned om høsten (nov) sammenlignet med uten fangvekst og sprøyting og pløying om høsten.	
				-27 (i.s)	-5%	Resultat fra andre år. Vårhavre. Glyfosat ble sprøytet om høsten (okt) og fangveksten pløyd ned om våren (apr) sammenlignet med uten fangvekst, sprøytet om høsten og pløyd om våren.	
				-16 (i.s)	-3%	Resultat fra andre år. Vårhavre. Glyfosat ble sprøytet om høsten (okt) og fangveksten pløyd ned om høsten (nov) sammenlignet med uten fangvekst og sprøyting og pløying om høsten.	
Sikori	Sentral og sørvest Sverige	Leirholdig jord	8	+33	+6%	Gjennomsnitt av 1-3 år i 6 forsøksområder. Såmengden var 0,8 kg/daa for alle fangvekster undersådd i vårbygg.	Liu m.fl. 2015
Hundegras				+16	+3%		
Flerårig raigras				+26	+4%		
Rødkløver				+17	+3%		
It. raigras	Finland	Leirjord	9		-1 % (i.s)	Lysimeter 5 år	Lemola m.fl. 2000
		Siltjord			- 6% (i.s)		
Westerwoldsk raigras	Finland				-7%	2 år	Känkänen m.fl. 2001

Fangvekst	Land	Jordtype	Gjødslingsnivå	Avlingsendring av hovedvekst		Info om forsøket (varighet, såmengde m.m.)	Referanse		
			kg N/daa	Kg/daa	%				
Hvitkløver	Finland		8 eller 9	-2,7 (i.s)	- <1%	Resultat oppgitt som gjennomsnitt av seks forsøk over 4 år for hhv. lav såmengde (150 – 400 frø/m²) og normal (400 – 800 frø/m²). Såmengden varierte mellom ulike fangvekster. Forfatter rapporterte estimert kornavling som påvirket av ulike fangvekster undersådd i vårbygg.	Känkänen & Eriksson 2007		
				-16,1 (i.s)	- <4%				
Rødkløver				-21,8 (i.s)	- 5%				
				-10,2 (i.s)	- 2,5%				
Sneglebelg				-17,4 (i.s)	- 4%				
				-19,8 (i.s)	- 4,5%				
Westerwoldsk raigras				-16,7 (i.s)	- 4%				
				-42,3 (s.f)	- 10%				
Timotei				1,5 (i.s)	0%				
	Finland, DK, Sverige og Norge	Lettleire		-6,4 (i.s)	- 1,5%	Metaanalyse 35 studier	Valkama m.fl. 2015		
				-19,4 (i.s)	- 5%				
lt. raigras				-46,9 (s.f)	- 11%				
				Gjns. - 3%					
				-8%					
		Leire		-1%					
				0%					
		sand							

i.s = ingen signifikant forskjell sammenlignet med vårkorn uten fangvekst, s.f = signifikant forskjell sammenlignet med vårkorn uten fangvekst, * = avlest fra figur, noe som kan medføre noe usikre tall.

Oppsummert:

Forsøkene viser at det er varierende avlingsnedgang i korn ved bruk av ulike fangvekster. *Westerwoldsk raigras* ble tidligere brukt, men den konkurrerer for godt med kornet og gir derfor forholdsvis stor avlingsnedgang i korn.

Avlingsnedgangen med *italiensk raigras* brukt som fangvekst gir også forholdsvis stor avlingsnedgang, fra 0 og opp til 17% i ulike forsøk under ulike forhold. Valg av sorten av italiensk raigras har noe betydning for avlingsnedgangen. Sorten Fredrik ga lavest avlingsnedgang av de som ble testet. Det er flere faktorer som påvirker konkurranseevnen til italiensk raigras og dermed avlingsnedgangen i korn. Bedre lystilgang for fangveksten fører til bedre konkurranse og større avlingsnedgang i kornet. Store såmengder gir større konkurransekraft av fangveksten. Såmengder på mellom 0,5 og 1 kg/daa er anbefalt. Gjødslingsnivået i korn er undersøkt, men har ikke entydig effekt på avlingsnedgangen ut fra forsøkene som er gjennomført. Det samme gjelder forskjeller mellom jordtyper.

Flerårig raigras gir mindre avlingsnedgang i korn enn italiensk raigras, det ble funnet en avlingsnedgang på 2-3% ved bruk av engelsk raigras sammenlignet med en kontroll uten raigras. Det ble kun funnet signifikant avlingsnedgang for sorten Napoleon, mens sorten Trani ikke viste signifikant avlingsnedgang i korn. I flere andre studier med bruk av flerårig raigras ble det funnet minimal (~3 % avlingsreduksjon da en ikke sprøyter med plantevernmiddel om høsten) eller ingen signifikant avlingsnedgang. Studiene omfattet forsøk med såmengde 0,8-1,0 kg/daa og gjødsling med 0-8 kg N/daa.

Ved lavt gjødslingsnivå har bruk av *belgvekster* gitt økt avling i korn. Forsøk har vist at bruk av hvitkløver ga 80 kg/daa avlingsøkning i snitt av 7 år uten nitrogengjødsling og også signifikant økning i kornavlingen ved lavt gjødslingsnivå (6 kg N/daa). Fangvekst av raigras og hvitkløver i blanding i korn har i forsøk også gitt høyere avling enn korn uten fangvekst.

4 Opptak av nitrogen i fangvekster

4.1 Gras som fangvekst

Studier i Norden viser at flerårig raigras undersådd i korn uten gjødsling om høsten tar opp mellom 0,7 til 3,8 kg N/daa i bladverket frem til senhøsten (Aronsson m.fl., 2016). Breland (1996b) fant at italiensk raigras tok opp mellom 1,7 til 5,5 kg N/daa (i bladmaterialet og i røttene) ved ingen gjødsling. Molteberg & Tangsveen (2004) rapporterte at godt etablert italiensk og flerårig raigras med høy dekningsgrad tok opp mellom 2,5 -3,5 kg N/daa i overjordisk plantemateriale (målt) og røtter (estimert) i løpet av vekstsesongen, mens timotei, hundegras og engsvingel tok opp noe mindre (1,5-2,5 kg N/daa).

I henholdsvis en finsk og en svensk studie var nitrogenopptaket i timotei og rødsvingel 0,9 Kg N/daa (Känkänen & Eriksson, 2007) og 1,2 kg N/daa (Aronsson & Torstensson, 2009). Andersen & Olsen (1993) rapporterte i en dansk studie om et noe lavere opptak i flerårig- og italiensk raigras på henholdsvis 1,5 og 1,6 kg N/daa. I et forsøk på Apelsvoll tok italiensk raigras opp 0,5 kg til 1 kg N/daa ved gjødsling med 0 eller 12 kg N/daa (Børresen & Eltun, 1993). Sturite m.fl. (2007) rapporterte at det totale nitrogenopptaket i løpet av vekstsesongen var signifikant høyere i bladverket i italiensk raigras enn i engsvingel. Det var ingen signifikant forskjell på innholdet av nitrogen i røttene. I forsøket til Hiitola & Eltun (1996) tok italiensk raigras opp i snitt 1,1 kg N/daa de to første forsøksårene uten nitrogengjødsling. Med nitrogengjødsling økte opptaket av nitrogen i raigraset.

Studiene viser at opptaket i fangvekstene varierer mht. fangvekstart, hvor godt fangvekstene får vokse om høsten og dekningsgrad. Molteberg m.fl. (2005) fant en god sammenheng mellom visuell bedømmelse av dekningsgrad i oktober og nitrogen opptatt i fangvekstene ($R^2=0,74$ av totalt 7 felt). Det er også flere faktorer som påvirker nitrogenopptaket som såtidspunkt og værforhold i etableringsfasen. Molteberg m.fl. (2005) fant at tidlig såing sammen med kornet og såmengde (~ 1 kg/daa) gav en bedre vekst av fangvekstene enn utsatt såing (3-4 uker senere) og lavere såmengde (~ 0,5 kg/daa). Nitrogenopptaket vil være høyere ved bedre vekst. Værforhold påvirker etableringen og veksten av fangvekster på flere måter.

4.2 Kløver som fangvekst

I forsøk på Apelsvoll inneholdt hvitkløverplanter 2 kg N/daa uten gjødsling, mens en blanding av italiensk raigras og hvitkløver (2:1) inneholdt litt under 2 kg N/daa i det første forsøksåret. På Staur i Hedmark inneholdt blandingen av italiensk raigras og hvitkløver tilsvarende som hvitkløver i ren bestand (1,0-1,2 kg N/daa) (Børresen & Eltun, 1993). Jørgensen & Ledgard (1997) estimerte at 82 til 84 % av innholdet av nitrogen i hvitkløver kommer fra nitrogenfiksering når en ikke gjødsler.

I forsøket til Hiitola & Eltun (1996) inneholdt hvitkløver i snitt 3,7 kg N/daa de to første forsøksårene. Økt gjødsling med nitrogen reduserte opptaket av nitrogen i hvitkløver.

Oppsummert:

Nitrogenopptaket i fangvekster av gras varierer mellom 0,5 til 5,5 kg/daa i forsøkene som er referert. Raigras, både italiensk og engelsk tar opp mer enn andre grasarter (timotei, hundegras og engsvingel). Såtidspunkt påvirker planteutvikling og dekningsgrad; såing sammen med kornet gir bedre etablering enn såing 3-4 uker senere fordi fangvekstene får større dekningsgrad og tar opp mer nitrogen.

5 Effekt på mineralsk nitrogen i jord

Fangvekster tar opp nitrogen etter høsting av hovedveksten og reduserer dermed konsentrasjonen av mineralsk nitrogen (N_{min}) i jorda. Det er viktig fordi høyt innhold av mineralsk nitrogen i jorda gir økt risiko for utvasking. Innholdet av mineralsk nitrogen bør være lavt mellom vekstsesongene. Om våren, kan frigjørelse av nitrogen fra dødt plantemateriale øke konsentrasjonen av mineralsk nitrogen i jorda og dermed gi mer næring til påfølgende vekst og økt risiko for utvasking.

5.1 Mineralsk nitrogen i jorda om høsten

Jordas innhold av mineralsk nitrogen ved bruk av fangvekster påvirkes av art og sort av fangveksten, såmengden, gjødslingen og tiden på året da mineralsk nitrogen blir målt. Breland (1996b) undersøkte effekten på mineralsk nitrogen i toppjorda (0-20 cm) av italiensk raigras og hvitkløver i vårhvete og bygg. Tre forskjellige gjødslingsmengder ble brukt og fangvekstene ble pløyd ned om høsten (oktober). Innholdet av mineralsk nitrogen i jorda ble målt ved tre tidspunkt; under vekst av kornet, etter høsting av kornet og etter pløying. Resultatene viste lavere innhold av mineralsk nitrogen i jorda etter høsting av kornet ved bruk av italiensk raigras, mens hvitkløveren hadde liten effekt sammenlignet med korn uten fangvekster. Italiensk raigras reduserte jordas nitratinnehold fra 4,2 til 0,4 kg/daa på 13 dager og kløver fra ca. 5 til 4,5 kg NO_3-N /daa på 20 dager da det ble gjødslet med 8 kg NO_3-N /daa ekstra etter høsting av kornet (Breland, 1996b).

I en studie av Børresen & Eltun (1993) ble effekten av italiensk raigras, hvitkløver og en blanding av de to undersøkt på Apelsvoll i Oppland og på Staur i Hedmark. Italiensk raigras som undervekst førte til at mineralsk nitrogen ble signifikant redusert ned til 60 cm dyp høsten 1989 og 1990 på begge forsøksområder. Beregnet ned til 60 cm dyp varierte reduksjonen fra 1,9 til 4,3 kg N/daa. Hvitkløver økte derimot innholdet av mineralsk nitrogen i enkelte sjikt i jorda (+1 til +2 kg N/daa på Staur, Hedmark). Hiitola & Eltun (1996) viste at i åra 1994 og 1995 ble mineralsk nitrogen i jorda (0-40 cm) redusert under alle fangvekstbehandlingene kort tid etter høsting der det ikke ble gjødslet med nitrogen om våren. Italiensk raigras reduserte mineralsk nitrogen i jorda med 1,7 kg/daa i snitt, mens en blanding av raigras og hvitkløver reduserte mineralsk nitrogen i jorda med 2,1 kg/daa. I snitt for 94 og 95 reduserte hvitkløver mineralsk nitrogen i jorda mest (2,9 kg/daa). Der det ble gjødslet var det små forskjeller i mengden av mineralsk nitrogen under fangvekstbehandlingene sammenlignet med uten fangvekst. I snitt for tre gjødslingsnivå høsten 1994 reduserte italiensk raigras mineralsk nitrogen i jorda med 0,6 kg/daa, mens hvitkløver økte innholdet noe.

I en lysimeterstudie på Ås (Henriksen m.fl., 2007) ble pløyetidspunkt for italiensk raigras (Macho) undersøkt på jordsøyler med morenejord (Apelsvoll), sandjord (Larvik) og leirjord (Bjørnebekk og Øsaker). Forfatterne rapporterte at også fangvekster som blir pløyd ned om høsten reduserer innholdet av mineralsk nitrogen i jorda. Innholdet av mineralsk nitrogen i jordprøver tatt ved pløyetidspunkt om høsten var 28 % lavere i jord med fangvekster enn i jord uten fangvekster. Det var størst reduksjon i mineralsk nitrogen i leirjord fra Bjørnebekk og Øsaker og minst reduksjon i morenejord på Apelsvoll (tabell 4). I snitt for alle jordtyper var innholdet om høsten (ved pløyetidspunkt) 243 mg N_{min}/100 g tørr jord. Forfatterne påpeker at enkeltmålinger av mineralsk nitrogen ikke sier noe om nitrogendynamikken gjennom året.

Tabell 4. Gjennomsnitt av mineralsk nitrogen (N_{min}=NO₃-N+NH₄-N) i jorda (0-20 cm) om høsten for fire jordtyper i lysimeterforsøk på Ås over tre år. Resultat er oppgitt som gjennomsnitt for høst- og vårpløyd ledd. Fra Henriksen m.fl., 2007.

		Nmin i jorda om høsten (mg N/100g)	Reduksjon sammenlignet med uten fangvekst (%)
Snitt alle jordtyper	Med it. raigras	243	28%
	Uten fangvekst	335	
Morenejord (Apelsvoll)	Med it. raigras	266	14%
	Uten fangvekst	308	
Sandjord (Larvik)	Med it. raigras	214	25%
	Uten fangvekst	286	
Leirjord (Bjørnebekk)	Med it. raigras	238	39%
	Uten fangvekst	388	
Leirjord (Øsaker)	Med it. raigras	252	30%
	Uten fangvekst	358	

I Känkänen & Eriksson (2007) ble blant annet italiensk raigras og timotei undersøkt i vårkorn. Det ble målt innhold av mineralsk nitrogen i jorda ved høsting av byggavlingen og påfølgende vår, samt om senhøsten (etter frost) i det øverste jordlaget (0-30 cm). Sammenlignet med uten fangvekst, reduserte italiensk raigras jordas innhold av mineralsk nitrogen i jord ved høsting av byggavlingen. Innholdet ble redusert med 0,7 kg N/daa ved høy såmengde (400 frø/m²) og 0,3-0,4 kg/daa, ~24 % ved normal såmengde (200 frø/m²) sammenlignet med uten fangvekst. Ved lav såmengde var reduksjonen enda lavere (0,13 kg/daa). Timotei reduserte innholdet av mineralsk nitrogen i jorda lite om høsten.

Aronsson m.fl. (2011) undersøkte mineralsk nitrogen i jorda for flerårig raigras over 2 år med og uten glyfosatsprøyting om høsten i Lanna og Lilla Böslid, Sverige. I Lilla Böslid var mineralsk nitrogen i jorda lavere om senhøsten (nov) der fangvekstene ikke ble sprøytet ned (1,5 kg/daa) sammenlignet med der fangvekstene ble sprøytet ned (2 kg/daa). Forfatterne foreslo at nitrogen frigjort fra dødt plantemateriale etter sprøyting utgjorde forskjellen. I Lanna var mineralsk nitrogen i jorda i november lavere med fangvekst (~2 til 2,1 kg/daa) enn uten fangvekst (~3,3 til 4,1 kg/daa) når arealene ble sprøytet i oktober og pløyd i november. Dette utgjør en forskjell på 40-50 %.

I en svensk studie økte innholdet av mineralsk nitrogen i jorda etter nedpløying om høsten av rødkløver og hvitkløver (Wallgren & Lindén, 1994).

I en meta-analyse av Valkama m.fl. (2015) er det rapportert fra studier i Norden på effekten av fangvekster på innholdet i jorda om høsten av enten mineralsk nitrogen (ammonium + nitrat) eller bare nitrat sammenlignet med nivået målt i jord uten fangvekster. Fangvekster av gras reduserte innholdet av mineralsk nitrogen/nitrat i snitt med 35 %. Italiensk raigras reduserte innholdet mest (60%) etterfulgt av flerårig og westerwoldsk raigras (25%). Belgvekster varierte fra å redusere innholdet av mineralsk nitrogen i jorda litt til å øke innholdet med ~3-4%.

Oppsummert:

Fangvekster av italiensk raigras reduserer mineralsk nitrogen i jorda med opp til 60 % om høsten, mens flerårig og westerwoldsk raigras reduserer innholdet av mineralsk nitrogen med 25%. Kløver kan ifølge de refererte studiene både øke og redusere innhold av mineralsk nitrogen i jorda om høsten.

5.2 Mineralsk nitrogen i jorda om våren

Frigjøring av nitrogen fra fangvekster om våren avhenger av bl.a. art, jordarbeiding og værforhold. Karbon-nitrogen forholdet (C:N) i fangvekstene har betydning for frigjøring av nitrogen om våren. Et C:N forhold på mer enn 35 fører gjerne til immobilisering av N og en sakte frigjøring (Dabney m.fl., 2001). Under kalde værforhold blir mineralsk nitrogen frigjort om våren da plantedeler dør eller fryses ut og særlig nitrogenfikserende fangvekster kan da øke innholdet av mineralsk nitrogen i jorda.

Känkänen & Eriksson (2007) undersøkte blant annet italiensk raigras og timotei undersådd i vårkorn. Det ble målt innhold av mineralsk nitrogen i jorda påfølgende vår (april/mai) før starten av vekstsesongen i det øverste jordlaget (0-30 cm). Italiensk raigras reduserte innholdet av mineralsk nitrogen på våren noe ved normal og høy såmengde, men reduksjonen var lavere enn om høsten. Årsaken til dette var dårlig vekst. Med lav såmengde økte derimot innholdet av mineralsk nitrogen (+0,22 kg/daa) sammenlignet med uten bruk av fangvekster. Hvitkløver og sneglebelg økte også innholdet av mineralsk nitrogen særlig ved høy såmengde. Timotei var den mest effektive fangveksten til å redusere mineralsk nitrogen om våren uansett såmengde. Forfatterne begrunnet dette med at timotei overvintrer og vokser selv etter vinteren og er aktuelt når en ikke pløyer før til våren. Det ble foreslått at lave såmengder av italiensk raigras i blanding med timotei er effektivt til å redusere mineralsk nitrogen om henholdsvis høsten og våren.

Aronsson m.fl. (2011) rapporterte fra forsøk i Lanna at det var lavere mineralsk nitrogen i jorda under fangvekst som ble pløyd ned om våren (april) og sprøytet med glyfosat høsten før (oktober) sammenlignet med kontroll uten fangvekst med samme pløye- og sprøytetidspunkt. I ruter med flerårig raigras varierte mineralsk nitrogen i jorda på våren fra 2,8 til 3 kg/daa og fra 3,5 til 3,7 kg/daa i ruter uten fangvekst (forskjell på ~20 %). I Lilla Böslid rapporterte en om lavere mineralsk nitrogen i jorda om våren (april) der fangvekstene ikke ble sprøytet ned sammenlignet med flerårig raigras som ble sprøytet ned høsten før (november). Mineralsk nitrogen i jorda var hhv. ca. 1,6 og 3,9 kg/daa noe som utgjør en reduksjon på ca. 60 % der fangvekstene ikke ble terminert.

Børresen og Eltun (1993) gjorde målinger av mineralsk nitrogen i jorda på forsommeren året etter innsåing av fangvekster i ruter uten nitrogen gjødsling på Apelsvoll og Staur i åra 1989 og 1990. I starten av juni økte raigras mineralsk nitrogen i jorda (10-20 cm) på Staur, mens raigraset reduserte mineralsk nitrogen i jorda også på forsommeren på Apelsvoll. Hvitkløver økte innholdet av mineralsk nitrogen i jorda på Staur etter fangvekst i jordsjiktet 0-20 cm (1,1 kg/daa i 1989 og 1,8 kg/daa i 1990), mens det ikke var noen effekt på Apelsvoll.

Henriksen m.fl. (2007) fant ingen sammenheng mellom innholdet av mineralsk nitrogen om våren med og uten fangvekster, samt høstpløying og vårpløying. I gjennomsnitt for alle jordtyper var innholdet av mineralsk nitrogen 608 mg /100 g tørr jord om våren.

Thorup-Kristensen (1993) påpekte at fangvekster som får vokse om våren kan redusere innholdet av mineralsk nitrogen i jorda og bidra til at den påfølgende avlingen ikke får nok nitrogen og reduseres. Thorup-Kristensen (1994) fant også at fangvekster som ble pløyd ned om våren (C:N forhold ~12) økte påfølgende avling. Aronsson og Torstensson (1998) fant små forskjeller i mineralsk nitrogen i jorda mellom bruk av flerårig raigras og ingen fangvekst. Forfatterne fant også gjennom simuleringer at ved nedpløying av flerårig raigras om våren økte mineraliseringen av nitrogen om sommeren, men at nitrogen ble frigjort for sent til at den påfølgende avlingen fikk nytte av den. Wallgren & Lindén (1994) fant at nedpløying av fangvekst av gras om våren reduserte påfølgende avling og at pløying sent om høsten istedenfor kan gi positiv effekt.

Oppsummert:

Studiene viser årlige variasjoner i innholdet av mineralsk nitrogen i jorda på våren etter bruk av fangvekster. Innhold av mineralsk nitrogen i jorda øker etter nedpløying av fangvekster, men ved bruk av fangvekster med et forholdsvis høyt C:N-forhold (f.eks. timotei) vil det ta lenger tid før nitrogenet er tilgjengelig for neste vekst. Pløyetidspunkt og C:N forholdet er avgjørende om påfølgende avling rekker å få nytte av det frigjorte nitrogenet.

6 Effekt på jordstruktur

Breland (1995) rapporterte at raigras som undervekst kan bidra til forbedringer i jordstrukturen. Studien viste tendenser til forbedret aggregatstørrelsesfordeling, jordtetthet og porevolum i prøver tatt om våren. Jordtetthet høyere enn 1,6 kg/dm³ er korrelert med begrenset utvikling av rotsystemet. Jordtetthet under raigras var 1,09 ± 0,02 og i kontroll var den høyere, 1,21 ± 0,02. Forfatterne rapporterte også om redusert kollaps av plogfure-profilen under fangvekster av raigras sammenlignet med ruter med hvitkløver og monokultur av korn. Forbedringen i jordstrukturen ble forklart med etableringen av et omfattende rotsystem fremfor mikrobiell effekt. Tilsvarende fant Liu m.fl. (2005) at fangvekster (bl.a. ett årig raigras) øker aggregatstabiliteten i størrelsesfraksjonen 2 til 6 mm.

I forsøk utført på moreneletteleire på Apelsvoll og Staur, viste raigras og hvitkløver derimot liten effekt på jordfysiske egenskaper som jordtetthet, porevolum og aggregatstørrelsesfordeling og stabilitet (Børresen & Eltun, 1993). Det ble påpekt at to år kan være for lite til å se en effekt av fangvekster i jord med allerede høyt porevolum og lav jordtetthet.

Jordpakking er et utbredt problem i Norge som bl.a. kan redusere infiltrasjon og transport av vann i jorda. Større og tyngre maskiner med kjøring og jordarbeiding under ikke-laglige forhold (f.eks. for fuktige forhold) gir stor risiko for jordpakking. Jordpakking fører til redusert rotvekst som igjen gir redusert opptak av næringsstoffer og vann og dermed dårlige avlinger. Fangvekster kan være med på å løse opp pakkeskadene, samt redusere jordas sårbarhet for jordpakking (Blanco-Canqui et al. 2015). En del arter vil egne seg enda bedre i forhold til jordpakking enn raigras. Dette viste Löfkvist m.fl.

(2005). De studerte evnen bygg, sikori, luserne, lupiner og rødkløver har til å vokse gjennom harde jordlag. Luserne viste seg å være best egnet, men også sikori, lupiner og rødkløver vokste gjennom det harde jordlaget og løsnet jordstrukturen.

Oppsummert:

Fangvekst av raigras har positiv effekt på jordstruktur og kan forbedre jordtetthet, porevolum og aggregatstørrelsesfordeling. Planter med dype rotsystem som luserne, sikori, lupiner og rødkløver kan løse opp pakkeskader, men flere studier er nødvendig for å kunne kvantifisere effekten.

7 Karbonbinding

Karbonlagring i jordbruksjord er en viktig økosystemtjeneste i bidraget til å redusere og binde atmosfærisk CO₂ i jorda. Bruk av fangvekster vil kunne maksimere fotosyntese-aktiviteten utover vekstsesongen og potensielt øke karboninnholdet i jorda (Poeplau m.fl., 2015). Fangvekster kan øke innholdet av organisk materiale som følge av økt biomasse av planter over og under bakken. Spesielt røttene er viktig for å øke innholdet av organisk karbon i jorda. Økt karboninnhold i jorda som følge av bruk av fangvekster gjør seg særlig gjeldene på lang sikt. På kort sikt er endringene små og vanskelig å oppdage grunnet heterogen jord eller store forskjeller innenfor et forsøksfelt. Fangvekster av grasarter er generelt bedre egnet til å øke karboninnholdet enn belgvekster grunnet en langsommere nedbrytning av plantematerialet. Videre er det mer effektivt med bruk av fangvekster og ingen jordarbeiding for å samle karbon enn med pløying hvor biomassen brytes ned raskere (Poeplau & Don, 2015). Fangvekstenes bidrag til karbonbinding avhenger av spiringen og vekstforholdene om sommeren og utover høsten.

I Europa er åkerjord en av de viktigste kildene til utslipp av CO₂ til atmosfæren. Tapet av karbon kan motvirkes med forbedret dyrkingsteknikk gjennom fangvekster, nedmolding av halm, husdyrgjødsel, avløpsslam og kompost. Det er få studier som fokuserer på potensialet fangvekster har til å øke innholdet av organisk karbon i jorda, men det er en økende interesse for temaet (Poeplau m.fl., 2015).

Poeplau m.fl. (2015) gjennomførte langtidseksperiment (16 til 24 år) sørvest i Sverige der effekten av undersådd flerårig raigras (såmengde: 0,5 – 1 kg/daa) på organisk karbon i jord (SOC) ble undersøkt. Det første forsøksområdet (Mellby I) rapporterer fra perioden 1989-2013. Det ble dyrket hvete, havre, bygg, raps og poteter. Fangvekstene ble pløyd ned om våren. Fire parvise ruter med fangvekst/ikke-fangvekst ble undersøkt ved følgende behandlinger: a) ugjødslede kontroll-ruter, b) ruter gjødslet med 9 kg mineral N/daa, c) mineral N og blautgjødsel av svin (15 kg N/daa totalt) og d) ruter med mineral N og blautgjødsel av svin (25 kg N/daa totalt). Det ble dyrket poteter i to år og rug ble sådd som fangvekst etter høsting av potet. Det andre forsøksområdet (Mellby II) rapporterer fra 1993-2013 og det ble dyrket bygg, havre og hvete. Det omfatter a) ruter der halm ble nedmoldet om høsten (november) og b) ruter der raigras ble undersådd om våren (april) og pløyd ned sammen med halmen om høsten (november). På forsøksstedet Lanna ble det rapportert fra perioden 1997-2013. I denne studien ble a) ruter pløyd i november sammenlignet med b) ruter der raigras ble undersådd om våren (mai) og nedmoldet om høsten (november). Halmen ble fjernet i alle rutene. Det ble dyrket vårkorn (bygg, havre og hvete). Effekten av nedmoldet raigras varierte fra en reduksjon på 0,2 til en økning på 1,48 tonn karbon/daa. Effekten var størst i ruter som ble gjødslet med 9 kg N/daa og ruter gjødslet med 15 kg N/daa. I Mellby økte lagringen av organisk karbon med 120 kg karbon/daa etter 23 år (5,2 kg C/daa pr. år) med fangvekst i ruter der det ikke ble gjødslet. I gjødslede ruter var det mye større karbonlagring, nemlig 1,4 tonn C/daa i samme periode. Dette gir en økt lagring på ca. 61 kg C/daa pr. år. Basert på nevnte forsøk benyttet forfatterne av studien en modell for beregning av massebalanse av

karbon (ICBM) for å undersøke hvor effektivt raigras kan fange og lagre karbon. Beregningene viste at fangveksten førte til økt karboninnhold i jorda i nordlige strøk (55-58°N) med en gjennomsnittlig fangst og lagringseffektivitet på 32 ± 28 kg karbon/daa pr. år. Fangst- og lagringskapasiteten av karbon varierte fra -10 til 64 kg karbon/daa pr. år. I Mellby II som gav en negativ verdi hadde jorda ved starten av forsøket et høyere innhold av organisk karbon der det ble sådd fangvekst (raigras) enn kontroll uten fangvekst. Etter 20 år var karboninnholdet i fangvekstrutene i dette forsøket tilsvarende som ved målinger ved starten av eksperimentet, mens kontroll-ruter uten fangvekst hadde økt innholdet noe. Denne forskjellen kan forklares med at når karboninnholdet er høyere går nedbrytningen raskere. Det var dermed en høyere nedbryting av organisk karbon i jorda, noe som kan ha overskygget effekten av fangveksten. Det kan dermed ikke konkluderes om effekten av fangvekst på jordas karboninnhold ut fra dette forsøket. Studien konkluderte videre med at effekten av raigras på organisk karbon i jord var tilsvarende jordforbedringsmiddel som husdyrgjødsel og avløps slam (Poeplau m.fl., 2015).

I en meta-analyse på 30 studier der 76 % av studiene ble gjennomført i temperert sone, ble effekten av belgvekster og ikke-belgvekster på organisk karbon i jord undersøkt (Poeplau & Don, 2015). I analysen ble det ikke differensiert mellom fangvekster og klimasoner. De fleste studiene undersøkte konsentrasjonen av karbon i jord der 90 % av forsøkene var i randomisert blokkdesign. For å undersøke lagring av organisk karbon i jorda brukte forfatterne følgende formel:

$$1) \text{ SOC}_{\text{lager}} = \text{SOC}_{\text{konsentrasjon}} \times \sigma_{\text{jord}} \times D$$

der tettheten til jorda (σ) i de fleste tilfeller ble beregnet ut fra den negative sammenhengen mellom konsentrasjonen av karbon og jordtetthet og D er dybden av jorda målingene ble tatt. Poeplau and Don (2015) estimerte at i snitt kan fangvekster binde 32 ± 8 kg karbon/daa årlig. Den globale årlige karbon fangst- og lagringskapasiteten er tilsvarende den bindingen som er rapportert av Poeplau m.fl. (2015). Til sammenligning er det i en global analyse med 67 langtids eksperimenter estimert at en overgang fra konvensjonell jordarbeiding til direktesåing kan binde 57 ± 14 kg karbon/daa pr. år (West & Post, 2002).

Ding m.fl. (2006) undersøkte effekten av fangvekster på organisk karbon i Massachusetts, USA. Studien undersøkte fangvekster sådd etter høsting av mais. På våren ble fangvekstene pløyd ned i jorda. Forsøket viste at fangvekster økte organisk karbon i jorda. Forfatterne fant et høyere innhold av organisk karbon i jorda under en blanding av lodnevikke og rug ($15,1 \text{ kg OC/m}^3$) og rug i renbestand ($14,1 \text{ kg OC/m}^3$) enn der det ikke ble sådd fangvekster ($11,4 \text{ kg OC/m}^3$). Forskjellene i organisk karbon mellom dyrkingssystemer med og uten fangvekst var signifikante etter 10 år.

I en studie gjennomført nord i Frankrike, undersøkte Constantin m.fl. (2010) effekten av fangvekster over 13 til 17 år. Lagring av nitrogen i organisk materiale økte etter bruk av fangvekster med 1,0 til 2,4 kg pr. år. Det er da sannsynlig at også karbonlagringen økte.

I en litteraturstudie av Blanco-Canqui m.fl. (2015) konkluderte forfatterne at organisk karbon i jorda kan øke fra 10 til 100 kg karbon/daa pr. år. Dette var avhengig av hvor stor biomasse fangvekstene produserte, hvilket opprinnelig karbonnivå jorda hadde og antall år med bruk av fangvekster.

Oppsummert:

Karbonlagringen øker med mengde tilført biomasse. Med bruk av fangvekster tilføres mer biomasse i under- og overjordiske plantedeler. Studier i Sverige av fangvekst undersøkt i korn har vist en gjennomsnittlig årlig økning av innholdet av karbon i jorda på 32 kg/daa målt ned til 20 cm. Karbonlagringen vil dessuten være størst på jord med lavt karboninnhold. Det er behov for langtidsstudier i Norge på hvor mye fangvekster kan øke karbonlagringen årlig. Det er også behov for å øke kunnskapen om evnen ulike fangvekster har til å øke karboninnholdet i dypere jordlag enn ned til 20 cm.

8 Effekt på erosjon

Erosjon og jordtap fra jordbruksarealer er et miljøproblem i korn-, potet- og grønnsaksproduksjon i Norge. Gjennomsnittlig erosjonstap fra fem felt med korn, potet og grønnsaker i JOVA-programmet basert på et tidsrom på 12 til 20 år, varierte fra 249 til 318 kg/daa pr. år (Bechmann m.fl., 2017). De største jordtapene ble registrert på arealer med marin leire. I Mørdre var opp til 50 % av kornarealet undersådd med fangvekster i perioden fra 1998 til 2006. Arealet med fangvekster i Mørdrebekkens nedbørfelt viste en negativ sammenheng ($r^2 = 0,63$) med årlig gjennomsnittskonsentrasjon av partikler i bekken, det vil si at partikkelkonsentrasjonen i bekken var mindre jo større arealet med fangvekster var (Bechmann m.fl., 2008). Arealet med fangvekster varierer imidlertid likt som arealet som overvintrer i stubb og det er muligvis denne effekten som vises i den reduserte konsentrasjonen av partikler. Målinger i et småfelt i Mørdre, Vandsemb-feltet, viser tilsvarende at i gjennomsnitt for årene uten fangvekst i hele feltet (1992-1995; 1997, 1998) er konsentrasjonen av partikler i overflate- og grøfteavrenning fra feltet hhv. 194 og 52 mg/L, mens det for år med fangvekst er tilsvarende 57 og 57 mg/L i overflate- og grøfteavrenning (tabell 6; Kværnø & Bechmann, 2010). Også her kan effekten av fangvekst egentlig være en effekt av at det ikke høstpløyes.



Figur 2. Vandsembfeltet med utstyr for måling av overflate- og grøfteavrenning. Det var fangvekst av raigras i hele feltet. Foto: A. S. Bechmann.

Baets m.fl. (2011) refererer til flere studier om bruken av fangvekster for å forhindre erosjon (Kaspar m.fl., 2001, Malik m.fl., 2000, Ryder & Fares, 2008). De skriver at siden fangvekstene dekker jorda i vinterhalvåret, beskytter de jorda mot erosjon og fysisk nedbrytning (for eksempel ødeleggelse av aggregater, jordpakking og tilslemming av overflaten). Vegetasjonens rolle i å beskytte jorda mot erosjon har lenge blitt anerkjent (Morgan, 2005). Vegetasjon beskytter jorda mot nedbørens kraft, øker infiltrasjonskapasiteten, bremser avrenningsprosessen og stabiliserer jorda ved hjelp av røttene

(Gyssels m.fl., 2005). Det betyr at det er nødvendig med mer energi i nedbøren for å løsne jordpartikler (Bochet & Garcia-Fayos, 2004). Dessuten fungerer fangvekster som et ujevnhetsselement, noe som bremser vannhastigheten (Styczen & Morgan, 1995).

Laboratorieforsøk med fangvekster av italiensk raigras viste en reduksjon (ca 95%) i konsentrasjonen av suspendert stoff ved bruk av fangvekster (fra 1280 til 40 mg/L) sammenlignet med åpen jord (Bechmann m.fl., 2005). Forsøket viste dessuten at dersom jorda var frosset var effekten halvert. Dette forsøket sammenlignet fangvekster med bar jord og resultatene kan ikke sammenlignes med overvintring i stubb, som i seg selv reduserer erosjonen.

De fleste studiene sammenligner fangvekster med bar jord og tar ikke hensyn til effekten av overvintring i stubb. I Norge er det mer aktuelt å sammenligne etablering av fangvekster med overvintring i stubb uten fangvekst for å undersøke om fangvekst gir et positivt bidrag utover det en oppnår med overvintring i stubb. Resultater fra vinterperioden 2017/2018 med overflateavrenning fra lysimeteranlegget på Hellerud viste at partikkelkonsentrasjonen for ruter som overvintret i stubb i kombinasjon med fangvekst var gjennomsnittlig 107 mg/L og tilsvarende var partikkelkonsentrasjonen for ruter med stubb uten fangvekster i gjennomsnitt 84 mg/L. Forskjellen mellom behandlinger var ikke signifikant (Øgaard, upubliserte data). Denne vinterperioden hadde et langvarig stabilt snødekke og i mer ustabile vintre kan effekten være annerledes.

I Norge vil fangvekster ofte fryse ut om vinteren, og det kan antydes at de overjordiske plantedelene evne til å beskytte jorda mot erosjon reduseres. Jorda er imidlertid fortsatt bedre dekket der det er fangvekster sammenlignet med ren stubb. Dessuten har røttene betydning ved å binde jorda. De Baets m.fl. (2011) undersøkte fordelingen av fangvekstenes røtter nedover i jorda og den erosjons-reducerende effekten i dråg. De fant at rottettheten og evnen til å forhindre erosjon i dråg var størst for arter med fint forgrenede røtter og minst for planter med pålerot. Fangvekster kan bidra til redusert erosjon i dråg om vinteren på samme måte som grasdekte vannveier, men effekten avhenger av plantedekket og rotutviklingen. Tilsvarende gjelder for fangvekster i forhold til vegetasjonssoner langs vassdrag. Fangvekster langs vassdrag vil bidra til å redusere erosjon og jordtap gjennom vinteren.

Oppsummert:

Fangvekster reduserer erosjon ved at røttene stabiliserer jorda, bremser hastigheten på avrenningen og øker infiltrasjonen. Bladmassen til fangvekstplantene beskytter dessuten jorda i tillegg til kornstubben ved å danne et plantedekke som reduserer regnets slagkraft og bremser vannhastigheten i avrenningen.

9 Avrenning av fosfor

Data fra JOVA-programmet viser at de gjennomsnittlige fosfortapene varierer mellom 41 og 750 g/daa i de forskjellige feltene. Tap av fosfor er hovedsakelig i form av partikkelbundet fosfor. Tap av løst fosfat varierte mellom 18 og 100 g/daa per år (Bechmann m.fl., 2017).

Aronsson m.fl. (2016) viste at effekten av fangvekster på det totale fosfortapet varierte fra en økning på 86 % (+9 g/daa pr. år) til en reduksjon på 43 % (-11 g/daa pr. år) basert på syv studier i Sverige, men tapene var uansett lave i disse feltene. I tabell 5 er det gitt en oversikt over studier på fosfortap via grøfte- og overflateavrenning fra undersådde fangvekster i feltforsøk med vårkorn, sammenlignet med kontroll uten fangvekster, basert på data fra Aronsson m.fl. (2016). Målt via grøfteavrenning var den høyeste absolutte reduksjonen i fosfortap 22 g/daa pr. år (42%) for undersådd raigras i leirholdig jord, mens den høyeste økning av fosfor gjenfunnet i grøfteavrenning var i sandig jord (+ 10 g/daa pr. år).

Tabell 5. Endring i gjennomsnittlig årlig fosfortap i drenerør og overflateavrenning i feltforsøk gitt i årlig (g/daa) og relative (%) verdier sammenlignet med kontroll uten fangvekst. Oversatt fra Aronsson m.fl. (2016).

Fangvekst	Land/ område	Jordtype	P gjødsling hovedavling (kg/daa)	Forsøkets varighet (År)	Tidspunkt for jordarb. kontroll	Fangvekst nedpløyd (mnd.)	Endring i P tap (g/daa pr. år)	Endring i P tap (%)	Referanse
Tap med grøfteavrenning									
Fl. raigras	Sverige/ Mellby	Sandig lettleire	Min-P, 2	17	sep.-okt.	mar.-apr.	-11	-43	Liu m.fl. 2012
Fl. raigras			Min-P, 2		sept.-okt.	mar.-apr.	+9	+86	
Fl. raigras			Husdyrgj., 3		sept.-okt.	mar.-apr.	+10	+8	
Fl. raigras			Husdyrgj., 6		sept.-okt.	mar.-apr.	0	0	
Fl. raigras	Sverige/L anna	Leire	Min-P, 1	2	nov. plvm	nov. plvm	-22	-27	Aronsson m.fl. 2011
Fl. raigras					apr.	apr.	-22	-42	
Fl. raigras	Sverige/L anna	Leire	Ingen P	4	nov.	nov.	-0,1	-4	Lindén & Wallgren (1993)
Rødkløver			Ingen P		nov.	nov.	+2,3	+74	
Fl. raigras	Sverige/F otegårde n	Sand	Min-P, 2	8	sept.-okt.	apr.-mai.	-0,2	-4	Aronsson m.fl. 2003
Fl. raigras					sept.-okt.	nov.	+1	+21	
Fl. raigras					apr.-mai	apr.-mai	+2	+43	
Reddik etter tidlig poteter	Sverige/B öslid	Sand	Min-P, 4	3	Vårkorn. nov. - des. plvm	nov.-des. plvm	0	0	Neumann m.fl. 2012
Tap i overflateavrenning									
Fl. raigras		Mellomleire	Min-P, 2	3	nov.-apr.	nov.-apr.	+0,1	+10	Ulén, 1997
Fl. raigras		Siltig mellomleire	Min-P, 2	2	okt.-apr.	okt.-apr.	0	0	Ulén & Kalinsky 2005
Hvitkløver		Siltig mellomleire	Min-P, 2	7	okt. - apr.	okt.-apr.	-1	-5	

Plvm= sprøytet med plantevernmiddel i oktober

I en studie av Ulén & Kalinsky (2005) var det ingen endring i fosfortap i overflateavrenning med raigras som fangvekst (tabell 5). Neumann m.fl. (2012) fant ingen forskjell i fosfortap i dreinsvann mellom oljereddik som fangvekst etter tidligkultur av poteter og bygg uten fangvekst. Blanco-Canqui m.fl. (2015) pekte på at reduksjonen i tap av sedimenter og fosfor er en følge av at fangveksten lager et beskyttende dekke over jorda som absorberer energi fra regnet, reduserer løsrivelse av jordaggregater, øker ruheten i det øvre jordlaget, reduserer hastigheten på avrenningen, øker infiltrasjonen og fremmer stabile aggregater.

Liu m.fl. (2015) fant at konsentrasjonen av fosfor i bladverket i fangvekstene om høsten varierer avhengig av art og lokalitet. Konsentrasjonen var høyest i hvitreddik etterfulgt av reddik, hvitsennep, honningurt og deretter flerårige vekster der sikori hadde høyest konsentrasjon av fosfor og rødkløver lavest, mens raigras og hundegras lå i mellom. I røttene var det generelt høyere fosforkonsentrasjoner i belgvekster enn i gras. Forfatterne konkluderte med at undersådde flerårige vekster var bedre egnet som fangvekster enn ettårige ettersådde vekster som tiltak mot fosfortap.

Bechmann m.fl. (2005) viste at frysing og tining om vinteren kan gi økt tap av løst fosfor. Forfatterne rapporterte at 41 % av fosfor i plantene gikk tapt etter en fryse- og tinesyklus (-18/+10 C°). Det er likevel forskjell mellom artene. Fosfortapet fra flerårig raigras var lavere enn fra italiensk raigras.

Øgaard (2015) viste at minimumstemperaturen er avgjørende for fosfortapet. I et to års utendørs forsøk ble 18-42 % og 17-48 % av plantenes fosforinnhold tapt det første og andre året med en temperatur ned til - 20 C°. I et labforsøk av samme forfatter ble mindre enn 15 % av totalfosfor i plantene tapt etter syv fryse- og tinesykluser med temperatur ned til - 10 C°.

Sturite m.fl. (2007) undersøkte hvor godt italiensk raigras, engsvingel og hvitkløver var egnet til bruk som fangvekst for å redusere fosfortap utenom vekstsesongen. Italiensk raigras tok opp betydelig mer fosfor enn engsvingel om høsten, men engsvingel hadde lavest fosfortap sammenlignet med hvitkløver og italiensk raigras gjennom vinteren. Engsvingel er en mer frost-tolerant plante som lagrer mer av næringsstoffene i røttene fremfor i bladene sammenlignet med italiensk raigras. I studien ble en del av fosforet (og nitrogenet) gjenfunnet i sigevannet når snøsmeltingen startet om våren. Fosfor fra plantemassen kan bli transportert i overflateavrenning om våren, særlig når den første avrenningsepisoden skjer etter en lang frostperiode. Sturite m.fl. (2007) argumenterer for at planter som står grønne når vinteren kommer kan utgjøre en risiko for fosforavrenning.

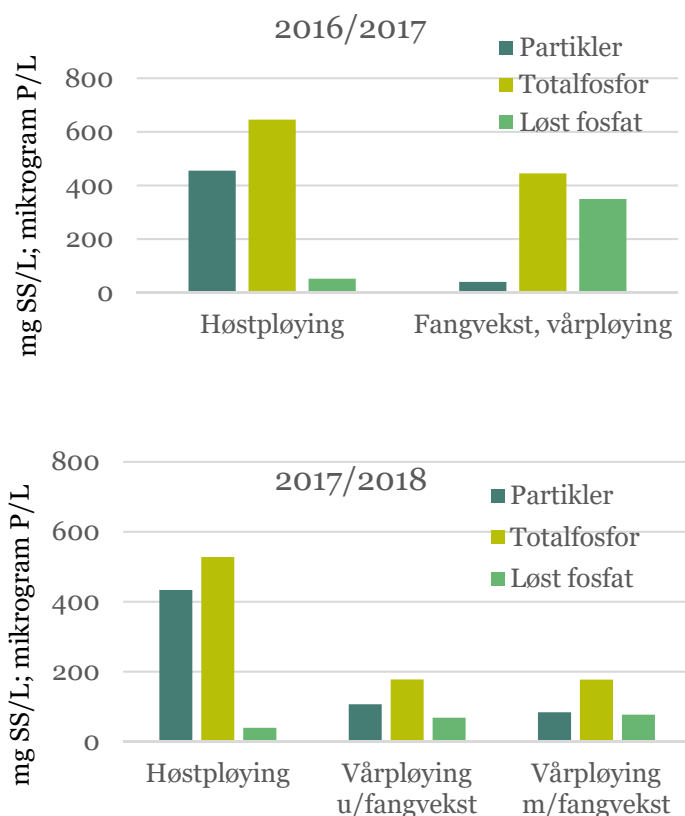
Liu m.fl. (2014) undersøkte fosfortap fra fangvekster på leirholdigjord fra sørøst Sverige. Avrenning fra jordsøyler med fangvekster (sikori, hundegras, flerårig raigras, rødkløver, reddik, hvitsennep og hvitreddik) og uten fangvekster ble undersøkt ved syv fryse-og tineepisoder. Totalfosfor konsentrasjoner etter fryse-tine episodene var signifikant høyere ($p=0,0022$) fra raigras, reddik og rødkløver enn fra sikori, hundegras, hvitsennep og hvitreddik.

I perioden med økt areal med fangvekster i Mørdefeltet (JOVA), ble en nedadgående trend for fosfortap observert ($0,05 < P < 0,2$). Den gode korrelasjonen mellom årlig totalfosforkonsentrasjon i avrenningen og fangvekstareal ($R^2=0,93$) kunne ikke forklares med redusert erosjon. Forfatterne pekte på opptak i plantene som en mulig årsak til nedgangen i fosfortap. Samme resultat ble funnet fra et småfelt i Mørdefeltet (Vandsemb) hvor det ble målt lavere årlige gjennomsnittskonsentrasjoner av totalfosfor i år med fangvekster sammenlignet med år uten fangvekst (Tabell 6)(Kværnø & Bechmann, 2010).

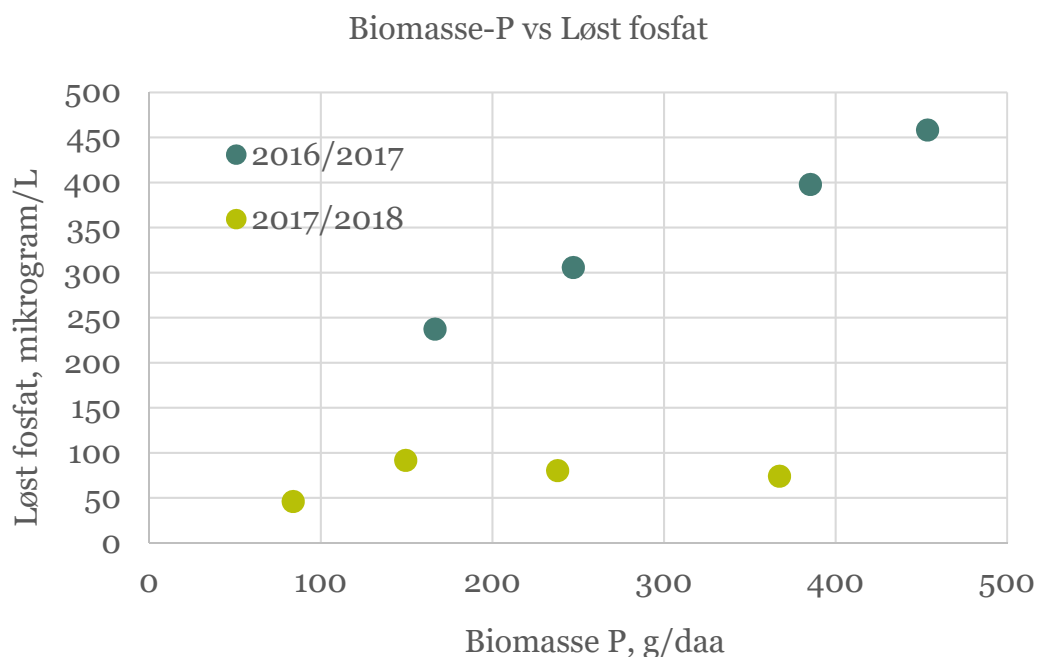
Tabell 6. Årlige gjennomsnittskonsentrasjoner av partikler (SS), totalfosfor (TP) og totalnitrogen (TN) fra Vandsemb småfelt i år med og uten fangvekster (Kværnø & Bechmann, 2010).

	SS (mg/L)		Total P (mg/L)		Total N (mg/L)	
	Overflate	Grøft	Overflate	Grøft	Overflate	Grøft
Vårkorn u/fangvekst	194	52	0,69	0,24	2,6	9,8
Vårkorn m/fangvekst	57	57	0,38	0,21	2,1	8,6

I fangvekstforsøket på Hellerud med flerårig raigras undersådd i korn viste resultatene fra en vinter (2017/2018) med langvarig snødekke ikke vesentlig høyere gjennomsnittskonsentrasjoner av totalfosfor (177 µg/L) i overflateavrenning fra ruter med sammenlignet med ruter uten fangvekst i stubben (Øgaard, upubliserte data) (Figur 3). Tilsvarende var det veldig liten forskjell i gjennomsnittskonsentrasjonen av løst fosfat for ruter med og uten fangvekst dette året. Resultatene fra analyser av løst fosfat fra to vintre ga imidlertid meget ulike resultater for avrenning av løst fosfat. I vinterperioden 2016/2017 hvor det var ustabil vinter og kortvarig snødekke, var konsentrasjonen av løst fosfat i avrenningen i gjennomsnitt 350 µg/L fra ruter med fangvekst, mens i vinterperioden 2017/2018, hvor det var et langvarig stabilt snødekke var gjennomsnittskonsentrasjonen fra ruter med fangvekst betydelig lavere (77 µg/L) (Figur 3). Vinterklimaet har dermed stor betydning for hvor store tapene av løst fosfat fra plantedekket blir. I vinterperioden med langvarig snødekke (2017/2018) ga stubb med fangvekst ikke vesentlig høyere konsentrasjoner av totalfosfor og løst fosfat i avrenningen enn stubb uten fangvekst (Figur 3). I vinterperioden med kortvarig snødekke (2016/2017) derimot, økte fosfatkonsentrasjonen i overflateavrenningen betydelig med økende mengde fosfor i biomassen på overflaten (Øgaard, upubliserte data)(Figur 4).



Figur 3. Konsentrasjon av partikler og fosfor i avrenning fra fangvekster i vinterperiodene 2016/2017 og 2017/2018



Figur 4. Sammenheng mellom mengden fosfor i biomassen og konsentrasjonen av løst fosfat i avrenningen i vinterperiodene 2016/2017 og 2017/2018.

Overflateavrenningen på vinteren var ganske lik fra de vårpløyde rutene med fangvekst i 2016/2017. De beregnede tapene av totalfosfor var i gjennomsnitt 50 g/daa og for løst fosfat 40 g/daa fra vårpløyde ruter. Fra høstpløyde ruter var tapet av totalfosfor i gjennomsnitt 117 g/daa og tapet av løst fosfat kun 4 g/daa. I 2016/2017 var det ikke vårpløyde ruter uten fangvekst til sammenligning. Vinteren 2017/2018 var fosfortapene lavere på grunn av lavere fosforkonsentrasjon i avrenningen. Tap av totalfosfor var 18 g/daa fra vårpløyde ruter uten fangvekst og 12 g/daa fra vårpløyde ruter med fangvekst. Tap av løst fosfat fra de samme rutene var 9 g/daa uten fangvekst og om lag 5 g/daa med fangvekst. Denne forskjellen i tap av løst fosfat var ikke statistisk signifikant.

Oppsummert:

Studiene viser at effekten av fangvekster på det totale fosfortapet varierer med fangvekstart, klima og jordtype. Fangvekstene kan redusere tap av partikkelbundet fosfor ved å gi økt beskyttelse mot erosjon. Forsøk har vist at tap av løst fosfat noen år kan øke på grunn av utfrysing av fosfor fra plantene. Fra flerårige fangvekster fryses det ut mindre fosfor enn med italiensk fangvekster. Tapene av fosfor ved utfrysing avhenger også av fosformengden i plantene. Det er behov for mer kunnskap om betydningen av vinterforholdene og vurderinger av risiko for fosfortap i et endret klima.

10 Avrenning av nitrogen

Mineralisering av organisk nitrogen i jorda kan fortsatt være høy etter høsting av hovedkulturen, når det dermed er lite planter som kan ta opp frigjort nitrogen fra jorda. Samtidig vil mye nedbør og lav evapotranspirasjon om høst og vinter resultere i overskuddsvann som transporteres gjennom jorda og vasker ut det mineraliserte nitrogenet fra rotsonen. Utvasking av nitrogen fra jordbruket i Norge er i gjennomsnitt for 10 overvåkingsfelt (JOVA) 2,1–9,8 kg N/daa (Bechmann m.fl., 2017). Nitrogentapet fra korndominerte områder varierer fra 2,4 til 5,5 kg/daa. For hele landet er tapet fra jordbruksareal estimert til 29000 tonn nitrogen pr. år (Bye m.fl., 2017).

Basert på 11 studier på utvasking av nitrogen i de nordiske landene rapporterte Aronsson m.fl. (2016) at grasarter brukt som fangvekster i korn reduserte utvasking av nitrogen med 48 % i snitt (2,2 kg/daa pr. år). I disse studiene var det for det meste brukt flerårig raigras (tabell 7). En av studiene inkluderte italiensk raigras, rødkløver og planter fra korsblomstfamilien. Den relative reduksjonen i utvasking av nitrogen varierte fra en økning på 62 % med bruk av rødkløver (+0,3 kg N/daa pr. år) til en reduksjon på 89 % med bruk av flerårig raigras i sandjord (-4,1 kg N/daa pr. år). For fangvekster som ikke fikserer nitrogen varierte den relative reduksjonen i utvasking av nitrogen mellom 0 og 89 %. Blant de 11 studiene var den høyeste absolutte reduksjonen i utvasking av nitrogen 5,1 kg/daa per år ved bruk av flerårig raigras i sandjord. Tabell 7 viser en oversikt over studier på utvasking av nitrogen fra undersådde fangvekster i vårkorn basert på Aronsson m.fl. (2016).

Dersom en kun inkluderer langtidsstudier på effekten av fangvekster (definert som ≥ 8 år) på utvasking av nitrogen, har de vist en relativ reduksjon på 41 % (-1,3 kg/daa pr. år), altså litt lavere effekt enn gjennomsnittet for alle studier (48 %) (Aronsson m.fl., 2016). I en studie med fangvekster (flerårig raigras) hvert år i 17 år på sandjord i Sverige var den relative reduksjonen av nitrogenutvasking på 55 % med ingen jordarbeiding om høsten (Aronsson m.fl., 2016).

Tabell 7. Endring i gjennomsnittlig årlig nitrogen(N)tap fra feltforsøk i absolutte (kg/daa pr. år) og relative (%) verdier. Metoder er beskrevet med følgende forkortelser: F^T er rutefelt med drenering som ble prøvetatt og analysert for total N, C^N er forsøksfelt der keramiske sugekopper ble benyttet for å ta ut jordvæske som ble analysert for nitrat og L^N er lysimeterforsøk med analyse for nitrat i oppsamlet vann (oversatt fra Aronsson m.fl., 2016).

Fangvekst	Land	Forsøkets varighet	Metode	Jordtype	N gjødsling hovedavling	Tidspunkt for jordarb. kontroll	Fangvekst nedpløyd (mnd.)	Endring i N tap	Referanse	
		År			kg/daa	mnd.	mnd.	kg/daa pr. år	%	
Fl. raigras	Sverige/Mellby	17	F ^T	Sandig lettleire	Ingen N	sept.-okt.	mar.-apr.	-1,2	-55	Torstensson & Aronsson 2000; Torstensson m.fl. 2006; Aronsson & Torstensson 2009
Fl. raigras					Min-N, 9	sept.-okt.	mar.-apr.	-2,8	-64	
Fl. raigras					Husdyrgj., 15	sept.-okt.	mar.-apr.	-1,5	-55	
Fl. raigras					Husdyrgj., 25	sept.-okt.	mar.-apr.	-1,7	-25	
It. raigras	Sverige/Mellby	3	F ^T	Sandig lettleire	Min-N, 9	sept.-okt.	mar.-apr.	-3,0	-83	Lewan 1994
Rødsvingel	Sverige/Mellby	3	F ^T	Sandig lettleire	Min-N, 9	mar.-apr.	mar.-apr.	-0,4	-18	Aronsson & Torstensson 2009
Fl. raigras						mar.-apr.	mar.-apr.	-1,1	-50	
Fl. raigras	Sverige/Mellby	3	C ^N	Sandig lettleire	Min-N, 9	nov.	nov.	0	0	Stenberg m.fl. 1999
Fl. raigras	Sverige/Lönnstorp	10	F ^T	Mellomleire	Min-N, 9	nov.-des	nov.-des.	-0,9	-43	Aronsson & Torstensson 2003
Fl. raigras	Sverige/Lanna	4	F ^T	Leire	Min-N, 11	nov.	nov.	-0,08	-21	Lindén m.fl. 1993
Rødkløver						nov.	nov.	+0,3	+62	
Fl. raigras	Sverige/Lanna	2	F	Leire	Min-N, 10	plvm. i nov.	plvm. i nov.	-0,8	-56	Aronsson m.fl. 2011
						apr.	apr.	-1,0	-72	
Fl. raigras	Sverige/Lanna	8	F ^T		Min-N, 11	sep.	nov.	-0,2	-18	Lindén m.fl. 2006
Fl. raigras	Sverige/Fotegården	8	F ^T	Sand	Min-N, 9	sep.-okt.	apr.-mai	-1,9	-54	Aronsson m.fl. 2003
Fl. raigras						sept.-okt.	nov.	-0,8	-22	
Fl. raigras						apr.-mai.	apr.-mai	-0,7	-30	
Fl. raigras	Sverige/Uppsala	2	L ^N	Sandig lettleire	Min-N, 10	mai.	mai.	-0,7	-50	Bergstrom & Jokela 2001

Fangvekst	Land	Forsøkets varighet	Metode	Jordtype	N gjødsling hovedavling	Tidspunkt for jordarb. kontroll	Fangvekst nedpløyd (mnd.)	Endring i N tap	Referanse	
		År			kg/daa	mnd.	mnd.	kg/daa pr. år	%	
It. raigras	Finland/Jokioinen	4	L ^N	Leire	Min-N, 9	okt.	okt.	-0,4	-41	Lemola m.fl. 2000
				Silt		mai.	mai.	-0,9	-61	
						okt.	okt.	-0,5	-58	
						mai.	mai.	-0,04	-7	
						okt.	okt.	-1,7	-69	
				Sand		mai.	mai.	-1,3	-58	
						okt.	okt.	-0,7	-23	
						mai.	mai.	-1,0	-34	
Fl. raigras	Norge	2	L	Lettleire	Min-N, 9,5	Ikke kjent	Senhøsten	-2,7	-69	Uhlén m.fl. 1996
				Sandig lettleire	Min-N, 9,5	Ikke kjent	Senhøsten	-1,8	-83	
Fl.raigras	Danmark/Ødum	4	C ^N	Siltig sand	Min-N, ~ 12,5	nov.-des.	nov.-des.	-1,2	-18	Hansen & Djurhuus 1997
						mar.-apr.	mar.-apr.	-1,6	-33	
		5	C ^N	Sand	Min-N, 12	nov.-des.	nov.-des.	-2,5	-37	
						mar.-apr.	mar.-apr.	-3,9	-57	
Fl. raigras	Danmark/Jyndeved	5	C ^N	Sand	Min-N, 6	nov.-des.	nov.-des.	-1,6	-33	Hansen & Djurhuus 1996
						mar.-apr.	mar.-apr.	-2,9	-60	
Fl. raigras	Danmark/Jyndeved	3	C ^N	Sand	Husdyrgj., 10,4 (NH ₄ -N)	mar.-apr.	mar.-apr.	-3,5	-42	Djurhuus & Lind 1992
Fl. raigras	Danmark/Jyndeved	3	C ^N	Sand	Min-N, 13	mar.-apr.	mar.-apr.	-3,6	-86	Simmelsgaard 1991
					Potet, 12,5	mar.-apr.	mar.-apr.	-4,1	-89	

Fangvekst	Land	Forsøkets varighet	Metode	Jordtype	N gjødsling hovedavling	Tidspunkt for jordarb. kontroll	Fangvekst nedpløyd (mnd.)	Endring i N tap	Referanse	
		År			kg/daa	mnd.	mnd.	kg/daa pr. år	%	
It. raigras	Danmark/ Askov	4	L ^N	Sandig letteire	Ingen N			-2,5	-68	Thomsen m.fl. 1993
					Min-N, 11			-2,9	-69	
					Min-N, 16,5	Vinter	Vinter	-1,6	-38	
					Husdyrgj., 11 (NH ₄ -N)			-3,3	-52	
					Husdyrgj., 16.5 (NH ₄ -N)			-3,8	-52	
Fl. raigras	Danmark/ Foulum	1	C ^N	Sandig letteire		aug.	mar.-apr.	-5,1	-85	Eriksen m.fl. 2008
Fl. raigras	Danmark/ Foulum	2	L ^N	Sand	Min-N, 9	mar.	mar.	-2,3	-26	Thomsen & Hansen 2014
Fl. raigras					Min-N, 9	mar.	nov.	-2,4	-28	
Reddik					Min-N, 9	mar.	mar.	-1,6	-19	
Reddik før vinterhvene					Min-N, 17	sep.	sep.	-0,9	-9	
Hvitsennep før vinterhvene					Min-N, 17	sep.	sep.	-1,2	-12	
Fl. raigras				Sandig letteire	Min-N, 9	mar.	mar.	-2,1	-49	
Fl. raigras					Min-N, 9	mar.	nov.	-2,4	-55	
Reddik					Min-N, 9	mar.	mar.	-3,7	-84	
Reddik før vinterhvene					Min-N, 17	sep.	sep.	-0,5	-8	
Hvitsennep før vinterhvene					Min-N, 17	sep.	sep.	-2,5	-40	

økt nitrogentap (+), redusert nitrogentap (-)

Aronsson & Torstensson (1998) viste at fangvekster reduserer nitrogentapet fra 40 til 50 % (1 til 1,5 kg N/daa) da fangveksten etablerte seg godt.

Lange norske vintre kan by på utfordringer. Molteberg m.fl. (2005) fant at plantene tapte mellom 20 og 30 % av oppsamlet nitrogen i overjordisk biomasse. Fireårige studier av Sturite m.fl. (2007) viste at i enkelte år kan nitrogen tapt fra overjordisk biomasse nå opp til 70 %. I snitt ble 30 til 40 % av det tapte nitrogenet fra bladmaterialer gjenfunnet i sigevannet gjennom vinteren. I en studie på hvitkløver fant Sturite m.fl. (2006) et lignende mønster fra 57 til 74 % av nitrogenet gikk tapt gjennom vinteren fra bladmassene. Sturite m.fl. (2007) argumenterte for at til tross for tapene om vinteren kan fangvekster redusere utvaskingen av nitrogen.

Studier har vist at særlig ved høstpløying vil organisk nitrogen i jorda mineraliseres og øke risikoen for tap (Bechmann, 2014). En sammenstilling av forsøk viser at nitrogentapet er betydelig lavere ved vårpløying enn ved høstpløying (Kværnø & Bechmann, 2010). I en lysimeterstudie av Henriksen m.fl. (2007) ble effekt av pløyetidspunkt for fangvekster undersøkt på jordsøyler med morenejord (Apelsvoll), sandjord (Larvik) og leirjord (Bjørnebekk og Øsaker). Fra høstpløyd fangvekst var tap av nitrat redusert med 52 % i snitt sammenlignet med høstpløyd uten fangvekst (Henriksen, 2007). Vårpløyd fangvekst reduserte nitrattapet med 80 % sammenlignet med vårpløying uten fangvekst. Tabell 8 viser tap i ulike jordtyper med og uten fangvekst. Tilsvarende sammenlignet Eriksen m.fl. (2008) pløyetidspunkt for areal med fangvekster pløyd om våren med areal uten fangvekster pløyd om høsten. Vårpløyd ledd med fangvekster reduserte nitrogentapet med 85 % sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding utført om høsten uten fangvekster. I det forsøket kan effekten enten være knyttet til fangveksten eller til høstpløyingen.

Tabell 8. Tap av nitrat (kg N/daa) fra jordsøyler med og uten fangvekst i forsøksperioden 2002 – 2004, basert på Henriksen m.fl. (2007).

	Høstpløyd		Vårpløyd	
	Med fangvekst (kg N/daa)	Uten fangvekst (kg N/daa)	Med fangvekst (kg N/daa)	Uten fangvekst (kg N/daa)
Snitt	3,1	6,4	1,3	6,5
Apelsvoll (morenejord)	6,2	9,0	2,1	7,7
Larvik (sandjord)	0,9	5,1	0,6	6,7
Bjørnebekk (leirjord)	1,2	6,1	0,6	6,2
Øsaker (leirjord)	4,1	5,4	2,0	5,4

Aronsson m.fl. (2011) undersøkte hvordan terminering av raigras med glyfosat påvirket utvaskingen av nitrogen. I et år med mye nedbør var utvaskingen 0,26 kg N/daa høyere for forsøksruter der fangveksten ble terminert i slutten av september i forhold til ruter der fangveksten fikk vokse frem til våren. Forskjellen var mindre året med mindre vannoverskudd.

I overvåkingsfeltet, Vandsemb, er effekten av fangvekster undersøkt. Feltet var uten fangvekster i perioden 1992-1995 og det var etablert fangvekst i perioden 2000-2005. I gjennomsnitt for årene med fangvekst var nitrogenkonsentrasjonen hhv. 2,1 og 8,6 mg/L i overflate- og grøfteavrenning og for år uten fangvekst var den tilsvarende 2,6 og 9,8 mg/L (Kværnø & Bechmann, 2010). Det vil si noe lavere nitrogenkonsentrasjoner i gjennomsnitt for år med fangvekst.

I en global metaanalyse på 28 studier med 238 observasjoner reduserte høstsådde fangvekster av gras og bredbladede planter utvasking av nitrogen med i gjennomsnitt 56 %. Forfatterne konkluderte med at evnen fangvekstene har til å redusere utvasking av nitrat er påvirket av såtid, plantens evne til å ta opp nitrogen og klima. I meta-analysen ble fangvekster sådd om høsten, og er dermed ikke direkte relaterbart til norske forhold (Thapa m.fl., 2018).

Oppsummert:

Studiene viser at gjennomsnittlig reduksjon av nitrogentap ved bruk av fangvekster av gras er på om lag 50 %, men variasjonen er stor. I de fleste av de refererte forsøkene er det brukt flerårig raigras. Kløver kan i noen tilfeller føre til økt utvasking av nitrogen. I Norge kan utfrysing om vinteren gi nitrogentap fra fangvekstenes overjordiske biomasse.

11 Utslipp til luft

Utslipp til luft omfatter her utslipp av klimagassene karbondioksid, lystgass, ammoniakk og metan. Fangvekster forventes å ha liten effekt på metanutslipp og derfor er det fokus på karbondioksid, lystgass og ammoniakk. Når fangveksten dør, kan karbonet, som tidligere på året ble bundet i fangveksten bli brukt til mikrobiell vekst som fører til karbonutslipp, utarming av oksygen og anaerobe forhold. Under anaerobe forhold kan denitrifikasjon være årsaken til utslipp av lystgass til luft (Henriksen m.fl., 2007). Faktorer som kan påvirke utslipp av lystgass kan være pH, frysing-tining, fangvekstart, nitrogeninnhold i plantematerialet (nitrogengjødsling), jordarbeiding m.m.

I et lab.-forsøk fant Mørkved m.fl. (2006) at frysing og tining av nitrogenrikt plantemateriale og mikroorganismer i jorda førte til utslipp av lystgass (N_2O). Det var imidlertid stor usikkerhet i målingene og vanskelig å si hvor store utslippene var.

I Norge er det ikke undersøkt lystgassutslipp fra fangvekster gjennom vinteren. Men det finnes målinger av lystgassutslipp fra kløverrik- og grasrik eng på Tjøtta og Fureneset (Sturite m.fl., 2014). Det ble gjort målinger gjennom vintersesongene (oktober-april/mai) 2011/2012 og 2012/2013. Målingene viste at kløver, som inneholder mer nitrogen i bladmassen enn gras, hadde et høyere utslipp av lystgass begge steder. Lystgassutslipp fra rent kløver bestand på Fureneset var mellom 170-200 g $\text{N}_2\text{O-N/daa}$ sammenlignet med ca. 100 g $\text{N}_2\text{O-N/daa}$ på Tjøtta for begge vintrene. Utslippene var høyere fra Fureneset som hadde lavere pH (5,9) enn Tjøtta pH (7,2). Gassfluksene var særlig høye da det øverste laget i jorda tinte og ble lavere med stabilisering av temperaturen. Lystgassutslippene fra gras på Tjøtta var mellom 60-70 g $\text{N}_2\text{O-N/daa}$. På Fureneset var utslippene tilsvarende Tjøtta i 2011/2012, men mindre enn 30 g $\text{N}_2\text{O-N/daa}$ sesongen etter. De korresponderende utslippene fra gras-kløver blandingen var i snitt 100 g $\text{N}_2\text{O-N/daa}$ på Tjøtta og Fureneset for begge vintrene (Sturite m.fl., 2014). I konvensjonell korndyrking er det mest aktuelt å bruke raigras som fangvekst. Grasartene har generelt et lavere nitrogeninnhold og en annen cellestruktur enn kløver som gjør plantene mindre utsatt for skader under fryse-tine forhold. Dette kan resultere i lavere lystgassutslipp gjennom vinteren enn fra kløverrik eng.

Til sammenligning målte Russenes m.fl. (2016) lystgass på Apelsvoll i Sørøst-Norge fra tre ruter i stubb gjennom høst, vinter og vår med ulik pH (fra 5,5 til 5,8). Det ble målt flukser fra fire rammer i hver av de tre rutene. Russenes m.fl. (2016) målte de høyeste akkumulerte utslippene om høsten fra jorda med lavest pH (ca. 30-50 g $\text{N}_2\text{O-N/daa}$). Utslippene da jorda tinte opp var for alle ruter (ca. 5-25 g $\text{N}_2\text{O-N/daa}$), mens det på senvåren (23.-27 mai) var generelt lave akkumulerte utslipp fra alle ruter (0,3 til 1,4 g $\text{N}_2\text{O-N/daa}$).

I forsøk av Li m.fl. (2015) ble målinger av lystgassutslipp fra ruter behandlet med ulike fangvekster og ulik jordarbeiding, samt fra ruter med stubb uten fangvekst sammenlignet. Målingene ble gjennomført på sandig lettleire over 1 år i Foulum, Danmark (10. september 2012 til 10 september 2013). Den totale nedbøren i måleperioden var 628 mm og gjennomsnittstemperaturer 7,2°C. Jorda ble utsatt for fryse-tineperioder om vinteren. Rødkløver, en blanding av rødkløver og raigras og flerårig raigras ble sådd en måned etter såing av bygg i 2012. Fôrreddik og lodnevikke ble sådd om høsten kort tid etter høsting av bygget (august 2012). Rutene med fangvekster ble enten høstet i oktober 2012 eller pløyd ned våren etter. De høyeste utslippene ble målt mellom november og april for alle fangvekster (26-130 $\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{t}^{-1}$), bortsett fra flerårig raigras som hadde lave utslipp i denne perioden (< 10 $\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{t}^{-1}$). Utslippene av lystgass fra flerårig raigras holdt seg lave gjennom vinteren og frem til vårpløying. Utslipp av lystgass økte fra alle fangvekster i 3 til 6 uker etter pløying om våren. Utslippene

om sommeren var lave ($< 20 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{t}^{-1}$). Generelt var utslippene høyest ved høsting av fangvekstene i oktober, om vinteren og etter nedpøying om våren. Den akkumulerte fluksen i perioden fra 10. september 2012 til 10. september 2013, for flerårig raigras som ble pløyd ned om våren var $50,9 \text{ g N}_2\text{O-N/daa}$ sammenlignet med $80,1$ for ruter i stubb uten fangvekst. I tabell 9 er resultater for de vårsådde fangvekstene som ble pløyd ned om våren vist.

Tabell 9. Kumulativ utslipp av lystgassflukser målt om høst, vinter, vår og sommer, samt for hele måleperioden (10. september 2012 -10.september 2013) fra fangvekster pløyd ned om våren. Basert på Li m.fl. (2015).

Fangvekst	Kumulativ N_2O – flukser ($\text{g N}_2\text{O-N/daa}$)				
	Høst	Vinter	Vår	Sommer	Årlig
Flerårig raigras	2,8	1,0	39,0	8,0	50,9
Rød kløver	3,8	37,6	34,3	8,4	84,1
Blanding rødkløver og raigras	3,4	20,5	45,6	14,0	83,5
Stubb uten fangvekst	7,0	46,1	20,1	7,0	80,1

Petersen m.fl. (2011) studerte utslipp av lystgass fra fôrreddik i høstkorn i Foulum, Danmark. I forsøket ble det sammenlignet konvensjonell og redusert jordarbeiding, samt direktesåing uten og med fangvekst (fôrredikk) sådd om høsten. Utslippene var lave gjennom høstperioden, vinter og tidlig vår med noe høyere utslipp under fryse-tine episoder. Akkumulerte utslipp over en periode på åtte måneder fra ruter sådd med fôrredikk var $0,303 \text{ kg N}_2\text{O-N/daa}$ sammenlignet med $0,196 \text{ kg N}_2\text{O-N/daa}$ for ruter uten fôrreddik.

I en meta-analyse gjennomført av Basche m.fl. (2014) fant forfatterne at i 60 % av tilfellene økte fangvekster utslippene av lystgass, mens i 40 % ble utslippene fra jordoverflaten redusert. Bruk av belgvekster økte utslippene mer enn bruk av gras. Videre var det registrert mer utslipp fra fangvekster som ble pløyd ned i jorda sammenlignet med fangvekster som ikke ble pløyd ned. Det er likevel flere faktorer som påvirker utslippene som gjødslingsmengde, nedbør og når målingene blir foretatt.

I en langtidsstudie av Constantin m.fl (2010) ble fangvekster sådd om høsten over 13 til 17 år i tre forsøk gjennomført i nord-Frankrike. Fangvekstene som ble undersøkt var hvitsennep, italiensk raigras og reddik. Basert på beregning av massebalansen av nitrogen estimerte forfatterne utslippene av nitrogen til luft. Fangvekster hadde i denne studien ingen signifikant effekt på utslippene av nitrogen. Forfatterne av studien undersøkte også effektene av ingen jordarbeiding og redusert gjødslingsnivå til hovedveksten hver for seg, hvor resultatene viste reduserte utslipp av nitrogen ($-1,36 \pm 0,46 \text{ kg N/daa pr. år}$) når en gjødsler mindre.

I en studie fra Canada ble effekt av fangvekst, gjødsling og brakking på utslipp av lystgass i Ontario undersøkt der frysing og tining er vanlig om vinteren (Wagner-Riddle & Thurtell, 1998). Utslippene varierte mellom 0 og $0,48 \text{ kg N}_2\text{O-N/daa}$ i perioden januar til april over fire år. Forfatterne viste at luserne eller gras som overvintrer kan resultere i neglisjerbare utslipp når jord tiner om våren.

Med utgangspunkt i undersøkte fangvekster som ikke pløyes ned på våren, peker Øygarden & Bechmann (2017) på en mulig nedgang i utslippene av lystgass fra vassdragene som følge av redusert nitrogenavrenning. Utslipp av ammoniakk (NH_3) fra rester av fangvekster kan også være en potensiell kilde til nitrogentap til luft, spesielt i plogfrie dyrkingssystem. Likevel viser studier lave nitrogen tap fra rester av fangvekst (få prosent av nitrogeninnholdet av fangveksten) (Dabney m.fl., 2001).

Oppsummert:

Studiene indikerer at under norske forhold når fangvekster blir undersådd om våren og pløyd ned neste vår, blir det lave utslipp av lystgass. Men utslipp kan forekomme under fryse-tine episoder, når det dannes gunstige forhold for denitrifikasjon (som følge av vannfylte porer) og dessuten etter gjødsling og jordarbeiding påfølgende vår. Danske studier viser at det er lavere utslipp av lystgass fra fangvekst sammenlignet med stubb uten fangvekst. Det er behov for mer kunnskap om lystgassutslipp under norske forhold og med de forventede klimaendringer. Dersom fangvekster erstatter tilført nitrogen i mineralgjødsel vil dette bidra til å redusere utslipp av lystgass ved gjødselproduksjon.

12 Effekt på biodiversitet

Mikro- og makroorganismer er viktig for jordfunksjoner og et rikt økosystem. En høy populasjon av meitemark kan øke infiltrasjonen og aggregatstabiliteten i jorda. Det er få norske og nordiske studier om effekt av fangvekster på biodiversitet, men i en studie fra Kansas, USA ble meitemarkpopulasjonen seksdoblet etter 15 år med bruk av fangvekster (lodnevikke, indisk hamp og soyabønner) i rotasjon med høstkorn og durra. Økt organisk innhold i jorda øker den mikrobielle aktiviteten. I en studie av Mullen m.fl. (1998) med lodnevikke, økte fangveksten enzymaktiviteten og mikrobetall i jorda.

Mykorrhizasopp hjelper plantene med å ta opp vann og næringsstoff (Dabney m.fl., 2001), samt med å tåle tørke (Schipanski m.fl., 2014). Glomalin, et protein produsert av mykorrhizasoppen, spiller en viktig rolle for jordaggregatstabiliteten og jordstrukturen. Bruk av fangvekster kan opprettholde populasjonen av mykorrhiza (Dabney m.fl., 2001).

Fangvekster kan også være et habitat for insekter og fugler. Blanco-Canqui m.fl. (2015) peker spesielt på fordeler når fangveksten forsetter å vokse utover høst og vinter etter høsting av hovedavlingen.

13 Ugras

Bruk av fangvekster kan påvirke ugraset på ulike måter, eksempelvis (i) ved jordarbeiding i forbindelse med etablering når fangveksten såes etter høsting, (ii) ved at etablert fangvekst konkurrerer med ugraset, (iii) ulike former for ettervirkning av fangveksten, f.eks. at denne har endret fysiske, biologiske eller kjemiske forhold i jorda, og (iv) ved ulike former for kjemiske eller mekaniske tiltak for å avslutte veksten (terminering) til fangveksten (Teasdale m.fl., 2007). Som drøftet tidligere i denne rapporten er det generelt slik at det er større utfordringer under norske forhold å få etablert en fangvekst med ønsket biomassevekst enn lenger sør fordi vekstsesongen her er kortere og det er dermed mindre tid til en kultur etter høstet kultur (hovedkultur). Dette tilsier at en fangvekst etablert i hovedkulturen, eksempelvis undersådd i korn samtidig med såing eller ved første ugrasharving, kan forventes å etablere seg bedre og potensielt også konkurrere bedre mot ugraset gjennom høsten, enn når fangveksten er sådd på sensommer eller høst etter tidligkulturer av potet og grønnsaker.

Det har vært gjort flere studier i Norge på effekten av undersådde vekster i korn (hvitkløver, rødkløver, italiensk raigras, blandinger) på kornavling og ugrasvekst. I en studie hvor det flere år på rad ble benyttet samme behandling på samme forsøksrute, reduserte ikke undersådd hvitkløver eller rødkløver ettårige ugrasarter, snarere så man at kløveren hadde gjødselvirkning på både kornet og ugraset (Sjursen m.fl., 2012). I denne studien økte ugrasfrøbanken signifikant på en av forsøkslokalitetene ved bruk av kløver som underkultur gjennom en fire-års periode. I motsetning til dette ga undersådd raigras, og blanding raigras og kløver, på den andre forsøkslokaliteten, sikker nedgang i ugrasbiomasse sammenlignet med ubehandlet kontroll. Det synes derfor som at gjødslingseffekten av undersådd kløver på ugraset i mange tilfeller kan overskygge konkurranse-effekten. Den manglende bekjempingseffekten av undersådd kløver på ugraset i studiet til Sjursen

m.fl. (2012), ble i stor grad bekreftet av en senere studie av Stenerud m.fl. (2015). I denne studien, også her med samme behandlinger på samme forsøksruter i en fireårs-periode, oppsummerte forfatterne at ugraset ble kontrollert ganske effektivt og stabilt med ugrasharving, men at de ikke kunne påvise noe klar effekt av undersådd kløver (hvitkløver eller rødkløver) på ugraset.

Den manglende effekten av undersådde kløverarter på ettårig ugras kan også være et tegn på at undersådde vekster har en marginal effekt på flerårige ugrasarter som kveke m.fl. Imidlertid fant Dyke & Barnard (1976) at italiensk raigras og rødkløver i vårbygg konkurrerte med kveka og reduserte den med mer enn 50% sammenlignet med bygg alene. Det lovende resultatet i dette studiet kan imidlertid ha blitt påvirket av at kveka ble plantet på 20 cm dyp, noe som er dypere enn normalt for kvekas jordstengler, og at dette reduserte dens konkurranseevne. Mer nylig har Bergkvist m.fl. (2010) rapportert at rødsvingel i høsthvete reduserte kvekas jordstengler (biomasse) med 40% uten å redusere hveteavlinga. I forsøk i Norge ble det funnet at en underkultur av rødkløver i havre i liten grad reduserte veksten til kveke, åkerdylle og åkertistel (Brandsæter m.fl., 2012). Ringselle m.fl. (2015) viste at undersådd engelsk raigras alene og i kombinasjon med rødkløver kan redusere overjordisk kvekebiomasse, men ikke dens jordstengelbiomasse. Rødkløver alene hadde en gjødslande effekt på kveka. I pottforsøk viste rødkløver at den gjennom lyskonkurranse hadde større reduserende effekt på kveke enn det mer næringskonkurrerende raigraset som i steden hadde større effekt på skuddbiomassen (Ringselle m.fl. 2017). Ringselle m.fl. (2018) viste noe lignende i felt der hvitkløver hadde en tendens til å redusere jordstengelbiomassen, mens raigraset hadde sterkere effekt på skuddbiomassen og kombinasjonen hvitkløver-raigras hadde god effekt på begge.

Oppsummering av resultatene fra de refererte studiene viser et ganske klart bilde av at undersådde kløverarter har et mindre potensiale enn eksempelvis grasarter for å redusere ugrasveksten. I tråd med dette oppsummerer også Bårberi (2002) at bruk av undersådde vekster fra gras- og korsblomst-familien ofte konkurrerer sterkere med ugraset enn hva belgvekster gjør. Men blandinger av gras og belgvekster kan gi en mer stabil effekt på ugraset da den ene arten kan kompensere for at den andre eventuelt ikke etablerer seg godt (Ringselle m.fl. 2015). I et nylig avsluttet EU-prosjekt «Oscar» ble det gjennomført en omfattende og delvis samkjørt forsøksserie i mange europeiske land hvor effekten av blant annet fangvekster på ugras ble studert. I denne studien ble ulike fangvekster etablert både som undersådd i høsthvete og sådd etter høsting av hveten. Effekten av fangvekstene på ugraset varierte mye mellom lokaliteter og hvilke fangvekster som var benyttet, men generelt ble det målt størst effekt av fangvekstene gjennom den perioden disse stod etablert på forsøksarealet. Ettervirkningen av fangvekstene, dvs. mengde ugras i kulturen etterpå, var imidlertid betydelig mindre (Reimer m.fl., 2019).

Som belyst innledningsvis er det et problem under våre forhold at fangvekstene vokser for lite etter at hovedkulturen er høstet. I enkelte produksjoner, f.eks. sent plantede grønnsaker, kan dette kompenseres ved at fangveksten får vokse uforstyrret utover våren, eventuelt forsommeren, og på denne måten kan oppnå en betydelig biomassproduksjon før veksten stoppes. Dette kan være aktuelt for blant annet arten lodnevikke som i en studie av Brandsæter & Netland (1999) viste høy biomasseproduksjon og at den konkurrerte effektivt med ugraset. Mange studier har vist at flere arter brukt som fangvekster kan hemme ugraset ved å avgi veksthemmende stoffer, f.eks. viste Sturm m.fl. (2018) at reddik, bokhvete og svart havre hadde en slik «allelopatisk» virkning på ugras.

Høsten er gjerne tidspunktet både for kjemisk og mekanisk kontroll av flerårig ugras, ikke minst er dette et viktig tidspunkt for bekjempelse av kveke. Som allerede nevnt, kan bruk av fangvekster være et tiltak også mot flerårig ugras. Inntil det blir funnet enda mer effektive fangvekster i så henseende, vil fangvekster om høsten stå i et motsetningsforhold til andre metoder for ugrasbekjempelse. Det vil bl. a. ikke være mulig å bruke tradisjonelle harver (høstbrakking) på areal med fangvekster. En interessant kombinasjonsmulighet som bør å testes ut er Kverneland sin prototype av «rotskjæreren», fordi denne sannsynligvis kan benyttes uten å forstyrre fangveksten for mye.



Figur 5. Kverneland sin nye prototype, «rotskjærer», er kanskje den første redskapstypen som kan brukes sammen med en fangvekst uten å skade denne for mye. Dette må undersøkes nærmere, men kombinasjonen av rotskjæring (eks. 10 cm dypt) og bruk av fangvekst samtidig kan være en viktig metode for framtiden.
Foto: Lars Olav Brandsæter

Oppsummert:

Fangvekstenes effekt på ugras er avhengig av bl.a. såtid og fangvekstart. Det er bedre konkurranse mot ugraset gjennom høsten når fangvekster blir undersådd i korn samtidig med kornet eller ved første ugrasharving sammenlignet med når fangveksten blir sådd på sensommeren eller høsten.

I tillegg kan noen arter, som såes etter høsting av potet og grønnsaker (f.eks. reddik, bokhvete og svart havre) avgi veksthemmende stoffer som begrenser ugrasveksten. Studier i bl.a Tyskland viser at undersådde grasarter (f.eks. raigras) har et høyere potensiale enn kløverarter for å redusere ugrasveksten. Studier på italiensk raigras (og rødkløver) og rødsvingel reduserte kveke med henholdsvis 50 % og 40 % (jordstengel) sammenlignet med uten bruk av fangvekst. I forsøk i Norge fant en at rødkløver som underkultur i havre ikke reduserte veksten til kveke, åkerdylle og åkertistel. Gjødslingseffekten av kløver kan ofte overskygge konkurranseeffekten og dermed ikke gi noen positiv effekt på ugrasveksten. Blandinger av gras og belgvekster er bedre enn renbestand da de har ulik konkurransemåte, graset minsker gjødslingseffekten av belgveksten og om graset eller belgveksten ikke etablerer seg godt så kan den andre kompensere og dermed sikre graden av ugraskontroll.

14 Nasjonale utslipp til vann og luft

Som tidligere drøftet, kan fangvekster binde og lagre karbon og dermed redusere netto utslipp av karbondioksid (CO₂). Fangvekster reduserer også tapet av nitrogen fra avrenning, og dermed også indirekte utslipp til luft. Det er varierende effekt av fangvekster på lystgassutslipp avhengig av blant annet vinterforhold. I beregningseksempelet er det brukt en studie der fangvekster reduserte lystgassutslippet sammenlignet med stubb. Dette avsnittet gir estimater på redusert utslipp til luft og vann med dagens fangvekstareal (flerårig raigras) og et hypotetisk tilfelle der fangvekster blir sådd på 60 % av kornarealet (tabell 10). Beregningene er vist under tabellen. Det er flere forbehold som må tas med hensyn til tallestimatene. Det er blant annet utfordringer knyttet til etableringen av fangveksten, klima, variasjon i vekstbetingelser og tall brukt i beregningene. Direkte utslipp av lystgass og karbonlagring fra areal med fangvekster er basert på henholdsvis en dansk og svensk studie og under norske forhold kan utslippene være annerledes. Flere spesifikke forbehold er beskrevet under hver utregning.

Estimatene indikerer størst reduksjon i klimagassutslipp ved karbonbinding, mens reduserte lyst/klimagassutslipp fra indirekte utslipp er til sammenligning små. Direkte utslipp av lystgass fra areal med fangvekster er sammenlignet med dersom arealet hadde ligget i stubb.

Tabell 10. Samletabell effekt av økt fangvekstareal på CO₂-ekvivalenter per år.

Utslipp til luft			
Effekt	Estimert reduserte (-) utslipp med dagens fangvekstareal	Estimert reduserte (-) utslipp med fangvekst på 60 % av kornarealet	Kapittelhenvisning
Karbonbinding	-2462 t CO ₂ -ekvivalenter (717 t C)	-200 689 t CO ₂ -ekvivalenter (54 733 t C)	4.2
Direkte utslipp N ₂ O fra areal med fangvekst sammenlignet med stubb uten fangvekst	-307 t CO ₂ -ekvivalenter (-1,03 t N ₂ O)	-23 447 t CO ₂ -ekvivalenter (-78,5 t N ₂ O)	4.3
Indirekte utslipp N ₂ O spart fra avrenning	-157 t CO ₂ -ekvivalenter (0,53 t N ₂ O)	-12 000 t CO ₂ -ekvivalenter (40 t N ₂ O)	4.4
Sum effekt:	-2926 t CO ₂ -ekvivalenter	-236 136 t CO ₂ -ekvivalenter	
N-tap i avrenning	-44,8 t N	-3420 t N	4.1

14.1 Beregnet reduksjon i nitrogentap til vann

Aronsson m.fl. (2016) estimerte at fangvekster kan sås på opptil 60 % av det totale kornarealet i Norge (1 760 km²). Dersom reduksjon i nitrogentapet i snitt er 2 kg N/daa, var total reduksjon i nitrogentap 700 tonn i sesongen 2002/2003 da fangvekstarealet var størst (350 000 daa). Dette utgjør 2,4 % av det totale nitrogentapet fra jordbruket (29 000 tonn). Med dagens fangvekstareal (22 400 daa) er det reduserte tapet 22 400 daa * 2 kg N/daa = 45 tonn nitrogen. Dersom fangvekst av raigras ble brukt på 60 % av kornarealet, kan en potensielt redusere nitrogentapet med 1 710 420 daa * 2 kg N/daa = 3420 tonn nitrogen, noe som utgjør 12 % av det totale årlige tapet fra jordbruket (Bye m.fl., 2017).

Antatt reduksjon i nitrogentapet ved bruk av fangvekst på om lag 2 kg/daa kan sies å være konservativ. Vandsemb & Bechmann (2004) brukte 2,1 og 3 kg N/daa i lignende beregninger for Hedmark fylke.

14.2 Beregnet potensial for karbonbinding

Med dagens fangvekstareal på 0,8 % av kornarealet (22 400 daa) (Bye m.fl., 2017) og med utgangspunkt i Poeplau m.fl. (2015) sitt estimat for binding av karbon i jord (32 kg/daa pr. år) blir estimert potensial for binding av karbon i jorda: $22400 \text{ daa} \cdot 32 \text{ kg/daa pr. år} = 717 \text{ tonn C pr. år}$. Med denne beregningen reduserer en netto utslipp tilsvarende 2464 tonn CO₂ årlig. Øker en fangvekstarealet til 60 % av det totale kornarealet kan en potensielt binde $32 \text{ kg/daa pr. år} \cdot 1\,710\,420 \text{ daa} = 54\,733 \text{ tonn C pr. år}$ tilsvarende 200 689 tonn CO₂ ekvivalenter pr. år. Beregningene referert i Bardalen m.fl. (2018) viste estimerte årlige reduserte utslipp på 40 000 tonn og 66 000 tonn CO₂ ekvivalenter på henholdsvis 20 % av det potensielle fangvekstarealet og 20 % av kornarealet. 20 % av det potensielle fangvekstarealet tilsvarer $1\,710\,420 \text{ daa} \cdot 0,2 = 342\,084 \text{ daa}$. Dermed blir utslippet redusert med $342\,084 \text{ daa} \cdot 32 \text{ kg/daa pr. år} = 10\,947 \text{ tonn C pr. år}$ som tilsvarer ~ 40 000 tonn CO₂ ekvivalenter. Tilsvarende beregninger kan gjøres for 20 % av kornarealet: $2\,850\,700 \text{ daa} \cdot 0,2 = 570\,140 \text{ daa}$. Utslipp redusert ble da $570\,140 \text{ daa} \cdot 32 \text{ kg/daa pr. år} = 18\,245 \text{ tonn C pr. år}$ som tilsvarer ~ 66 000 tonn CO₂ ekvivalenter.

I tillegg til usikkerhet i tallestimatet for årlig karbonbinding under fangvekster, så baserer beregningen seg på det øvre jordlaget (0-20 cm). Fangvekster med dypere rotsystem vil også bidra til økt binding i dypere jordsjikt. Det er heller ikke tatt hensyn til avtagende effekt som følge av når likevekten mellom tilførsel og tap av organisk materiale nås, så gir økt karbonlager i jorda også økte utslipp av CO₂ (Grønlund, 2010).

14.3 Beregnede direkte lystgassutslipp

Som et eksempel kan en beregne direkte utslipp av lystgass fra fangvekster basert på Li m.fl. (2015). For å sammenligne utslipp fra åker i stubb og utslipp fra åker med fangvekst brukes tall fra tabell 9. Årlig utslipp av lystgass fra flerårig raigras er 50,9 g N₂O-N/daa. Omregning fra lystgass-N til lystgass gir: $44/28 \cdot 50,9 \text{ g N}_2\text{O-N/daa} = 80 \text{ g N}_2\text{O/daa}$. Areal i stubb ga, til sammenligning, lystgasstap på 126 g N₂O/daa. Med dagens fangvekstareal gir disse etimatene et utslipp på $80 \text{ g N}_2\text{O/daa} \cdot 22\,400 \text{ daa} = 1,792 \text{ tonn N}_2\text{O}$ (534 tonn CO₂-ekvivalenter) sammenlignet med 2,822 tonn N₂O (841 tonn CO₂-ekvivalenter) hvis det samme arealet hadde ligget i stubb uten fangvekst. Dersom det hadde blitt sådd fangvekster på hele det estimerte potensielle fangvekstarealet (60% av kornarealet) hadde utslippene blitt $80 \text{ g N}_2\text{O/daa} \cdot 1\,710\,420 \text{ daa} = 137 \text{ t N}_2\text{O}$ (40 776 tonn CO₂-ekvivalenter) sammenlignet med 215,5 t N₂O (64 223 tonn CO₂-ekvivalenter) hvis det samme arealet hadde ligget i stubb uten fangvekst. Eksempelet er basert på en dansk studie og under norske forhold kan utslippene være annerledes. Til eksempel kan utslippene være høyere ved hyppige fryse-tine episoder.

14.4 Beregnede indirekte lystgassutslipp

Utslippsfaktoren for lystgass i avrenning og utvasking er 0,0075 kg N₂O-N per kg N i avrenningen (IPCC, 2006) fra tidligere 0,025 i utvasking og avrenning (Kroeze m.fl., 1997; Rivedal & Barcena, 2014). Utslipp av ammoniakk (NH₃) og NO_x, samt avrenning og utvasking fra N kan omdannes til lystgass, og dermed indirekte bidra til lystgassutslipp.

Dersom en bruker samme måte å beregne redusert avrenning som i 4.1, der redusert tap av nitrogen med fangvekster er 2 kg N/daa, sparer en med dagens fangvekstareal (22 400 daa) 44,8 tonn N. Bruker en faktoren 0,0075 kg N₂O-N per kg N i avrenningen for utslipp av lystgass fra avrenning (IPCC, 2006), sparer en med dagens praksis $44\,800 \text{ kg N} \cdot 0,0075 = 0,336 \text{ tonn N}_2\text{O-N}$ som omregnet til lystgass blir $0,336 \cdot 44/28 = 0,53 \text{ tonn N}_2\text{O}$ (157 tonn CO₂ ekvivalenter.). Dersom fangvekst av raigras ble sådd på 60 % av kornarealet, kan potensielt tapet av nitrogen reduseres med 3420 tonn (se 4.1). Med IPCCs utslippsfaktor sparer en da $3420\,840 \text{ kg N} \cdot 0,0075 \cdot 44/28 = 40 \text{ tonn N}_2\text{O}$ (12 000 tonn CO₂ ekvivalenter).

15 Konklusjon

Fangvekster brukes for å redusere nitrogen- og fosfortap fra kornarealer for å hindre forurensing av vassdrag. Særlig flerårig raigras har egenskaper som er passende for det norske klimaet. Flerårig raigras er frosttolerant og påvirker **avlingen** av hovedkulturen lite (avlingsreduksjon på < 3% ved sårrate 0,7 til 1,0 kg/daa). Ved lavt gjødslingsnivå har bruk av belgvekster som fangvekst gitt økt avling i korn. Opptak i fangvekstene og innholdet av mineralsk nitrogen i jorda er viktig for tap av nitrogen. Raigras (italiensk og flerårig) har et høyere **opptak** enn andre grasarter (timotei, hundegras og engsvingel). Italiensk raigras tar igjen opp mer nitrogen enn flerårig. Italiensk raigras reduserer **mineralsk nitrogen** i jorda om høsten med opp til 60 % om høsten, mens flerårig og westerwoldsk raigras reduserer innholdet av mineralsk nitrogen med 25%. Kløver kan både øke og redusere innholdet av mineralsk nitrogen i jorda om høsten. Fangvekster forbedrer **jordstrukturen** (aggregatstabiliteten, tettheten og porvolumet i jorda) og **binder karbon** i jorda (potensielt 32 kg C/daa pr. år). I tillegg kan fangvekster med dyptvoksende røtter som luserne og sikori ha en jordlønende effekt; de kan løsne opp pakkeskader. Fangvekster reduserer også **erosjon** ved at røttene stabiliserer jorda, bremser hastigheten på avrenningen og øker infiltrasjonen.

For de nordiske landene er det sprikende resultater for effekten av fangvekster av gras på **tapene av fosfor** fra en reduksjon på 43 % til en økning på 86 %. Vinterforhold kan føre til tap av fosfor som følge av utvasking av løst fosfor fra plantematerialet etter frost. Dette fosfortapet er avhengig av været på vinteren, inkludert antall fryse-tine sykluser, snødekke og frosttemperatur. Dessuten er det avhengig av fosforinnholdet i plantemassen. **Tapene av nitrogen** kan reduseres med om lag 50 % i gjennomsnitt ved bruk av fangvekster av gras (særlig flerårig raigras). Kløver som fangvekst kan i noen tilfeller føre til økt utvasking av nitrogen. I Norge kan utfrysing om vinteren resultere i tap av nitrogen fra fangvekstenes overjordiske biomasse. Det er varierende resultater fra studier på **utslipp av lystgass** (N₂O). En dansk studie viste lavere utslipp fra areal med flerårig raigras som fangvekst sammenlignet med areal i stubb. Det trengs studier under norske forhold for å kunne gi svar på blant annet effekten av frysing og tining og de potensielle økte tapene under slike vinterforhold sammenlignet med areal i stubb. Studier i Norge viser større utslipp ved bruk av belgvekster enn gras. I dag står landbruket for 74 % av utslippene av lystgass i Norge, men av dette bidraget er det husdyrgjødsel og mineralgjødsel som står for mesteparten av utslippet (77 % av lystgassutslippene fra jordbruket). Dersom nitrogenfiksering av belgvekster erstatter tilført nitrogen i mineralgjødsel vil dette bidra til å redusere utslipp av lystgass ved gjødselproduksjon. **Biodiversiteten** vil kunne økes med bruk av fangvekster. Fangvekster kan virke **ugrashemmende** og studier fra blant annet Tyskland viser bedre effekt med gras som fangvekst enn med belgvekster. I tillegg kan noen fangvekstarter, som såes etter høsting av potet og grønnsaker (f.eks. reddik, bokhvete og svart havre) avgi veksthemmende stoffer som begrenser ugrasveksten.

Fangvekster bidrar med flere økosystemtjenester, blant annet ved at de renser vann gjennom å redusere avrenningen av næringsstoffer, binder og lagrer karbon, hindrer erosjon, reduserer ugras og øker biodiversiteten. Fangvekster bidrar dessuten til økte avlinger ved bruk av belgvekster som fangvekst, mens fangvekster av gras kan redusere avlingene noe. Fangvekstene kan også påvirke utslipp av lystgass, men det er mye usikkerhet rundt denne effekten. Fangvekster kan gi oss forsyningstjenesten råvarer dersom fangveksten høstes og brukes til biodrivstoff.

NIBIO har flere pågående prosjekt på bruk av fangvekster. I EU prosjektet SoilCare undersøker en ulike blandinger av fangvekster både undersådd i vårkorn og sådd etter høsting av kornet. I forsøket som gjennomføres i samarbeid med Norsk landbruksrådgiving (NLR) undersøkes effekten av fangvekster på fysiske, kjemiske og biologiske parametre i jorda. I samme prosjekt undersøkes det om blant annet luserne kan virke jordlønende på pakkeskader. NIBIO har også et forsøk hvor en undersøker hvordan fangvekst i stubb påvirker fosfor- og jordtap sammenlignet med stubb uten

fangvekst. Flere studier er nødvendig under norske forhold, særlig om effekt på karbonlagring, klimagassutslipp, biodiversitet og muligheten for å benytte fangvekstene til biodrivstoff.

Litteraturreferanse

- Andersen, A. & Olsen, C. C. 1993. Rye grass as a catch crop in spring barley. 43(4), 218-230.
- Aronsson, H., Hansen, E. M., Thomsen, I. K., Liu, J., Øgaard, A. & Känkänen, H. (2016). The ability of cover crops to reduce nitrogen and phosphorus losses from arable land in southern Scandinavia and Finland. 71(1), 41-55.
- Aronsson, H., M. Stenberg, & B. Ulén. 2011. Leaching of N, P and glyphosate from two soils after herbicide treatment and incorporation of a ryegrass catch crop. Soil Use and Management 27:54-68.
- Aronsson, H. & Torstensson, G. 1998. Measured and simulated availability and leaching of nitrogen associated with frequent use of catch crops. Soil use and Management: 14(1): 6-13.
- Aronsson, H. & G. Torstensson. 2003. Höstgrödor- Fånggrödor-Utlakning. Kvävedynamik och kväveutlakning i två växtföljder på moränlätter i Skåne, 1999-2003 (Winter crops and cover crops-soil mineral N dynamics and N leaching from two crop rotations in south Sweden). Ekohydrologi 75, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden (in Swedish).
- Aronsson, H. & Torstensson. 2000. Nitrogen leaching and crop availability in manured catch crop systems in Sweden. Nutrient Cycling in Agroecosystems 56: 139-152.
- Aronsson, H. & G. Torstensson. 2009. Långsiktiga effekter av flytgödsel och fånggrödor på växtnäringsdynamik i marken och utlakning. Mellby försöksfält 1989-2009 (Long-term effects of applications of pig slurry on soil N dynamics and leaching. Mellby experimental field, 1989-2009). Ekohydrologi 114. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden (in Swedish).
- Aronsson, H., G. Torstensson, & B. Lindén. 2003. Långliggande utlakningsförsök på lätt jord i Halland och Västergötland, 1998-2002 (Long-term field leaching experiments on two sandy soils in Sweden). Ekohydrologi 74, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden (in Swedish).
- Baets, S. De, Poesena, J. Meersmansb, J., Serle, L. 2011. Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. Catena 85 (2011) 237–244
- Bårberi, P. 2002. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? Weed Research 42: 177-193.
- Bardalen, A., Rivedal, S. Aune, A., O`Toole, A., Walland, F., Silvennoinen, H. K, Sturite, I, Bøe, F., Rasse, D., Pettersen, I. & Øygarden, L. 2018. Utslippsreduksjoner i norsk jordbruk. Kunnskapsstatus og tiltaksmuligheter. NIBIO rapport Vol 4 Nr. 149.
- Basche, A. D., Miguez, F. E., Kaspar, T. C. & Castellano, M, J. 2014. Co cover crops increase or decrease nitrous oxide emissions? A meta-analysis. Journal of Soil and Water Conservation, 69(6), 471-482.
- 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 (2014) 13-24
- Bechmann, M., Deelstra, J., Stålnacke, P., Eggestad, H.O., Øygarden, L. & Pengerud, A. 2008. Monitoring catchment scale agricultural pollution in Norway – policy instruments, implementation of mitigation methods and trends in nutrient and sediment losses. Environmental Science and Policy 11, 102-114.

- Bechmann, M., Kleinman, P. J., Sharples, A. N. & Saporito, L. S. 2005. Freeze-thaw effects on phosphorus loss in runoff from manured and catch-cropped soils. *Journal of environmental quality*, 34, 2301-2309.
- 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 nedbørsfelt. Sammenendragsrapport fra Program for Jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) for 1992-2016.
- Bergkvist, G., Adler, A., Hansson, M. & Weih, M. 2010. Red fescue undersown in winter wheat suppresses *Elytrigia repens*. *Weed Research* 50: 447-455.
- Bergström, L. & Jokela, W. E. 2001. Ryegrass cover crop effects on nitrate leaching in spring barley fertilized with 15NH_4 15NO_3 . *Journal of Environmental Quality* 30:1659-1667.
- Blanco-Canqui, H., Shaver, T. M., Lindquist, J. L., Shapiro, C. A., Elmore, R. W., Francis, C. A. & Hergert, G. W. 2015. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *107*(6), 2449-2474.
- Bochet, E., Garcia-Fayos, P., 2004. Factors controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, Spain. *Restor. Ecol.* 12, 166–174.
- Brandsæter, L. O., Heggen, H., Riley, H., Stubhaug, E. & Henriksen, T. 2008. Winter survival, biomass accumulation and N mineralization of winter annual and biennial legumes sown at various times of year in Northern Temperate Regions. 28(3), 437-448.
- Brandsæter, L.O. & J. Netland. 1999. Winter Annual Legumes for use as Cover Crops in Row Crops in Northern Regions: I. Field experiments. *Crop Science* 39: 1369-1379.
- Brandsæter, L.O., Thomsen, M.G., Wærnhus, K. & Fykse, H. 2012. Effects of repeated clover undersowing in spring cereals and stubble treatments in autumn on *Elymus repens*, *Sonchus arvensis* and *Cirsium arvense*. *Crop Protection* 32:104-110.
- Breland, T. J. 1995. Green manuring with clover and ryegrass catch crops undersown in spring wheat: effects on soil structure. 11(4), 163-167.
- Breland, T. A. 1996a. Green manuring with clover and ryegrass catch crops undersown in small grains: crop development and yields. *Acta Agriculturae Scandinavica B-Plant Soil Sciences*, 46(1), 30-40.
- Breland, T. A. 1996b. Green Manuring with Clover and Ryegrass Catch Crops Undersown in Small Grains: Effect on Soil Mineral Nitrogen in Field and Laboratory Experiments. *Acta. Scand. Sect. B, Soil and Plant Sci*, 178-185.
- Bye, A.S. Aarstad, P.A., Løvberget, A.I. & Høie, H. 2017. Jordbruk og miljø 2017. Tilstand og utvikling. SSB rapport 2017/41.
- Børresen, T. & Eltun, R. 1993. The effect on soil properties and yields of continuous undersown cover crops in cereals in field experiments at Apelsvoll and Staur. *Norsk landbruksforskning. Supplement*(16), 94-110.
- Børresen, T. & Eltun, R. 1993. Virkningen på jord og avling av undervekster i korn i feltforsøk på Apelsvoll og Staur. *Norsk Landbruksforskning*, 94-110.
- Constantin, J., Mary, B., Laurent, F., Aubrion, G., Fontaine, A., Kerveillant, P. & Beaudoin, N. 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 135(4), 268-278.
- Dabney, S. M., Delgado, J. A. & Reeves, D. W. 2001. Using winter crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1221-1250.

- Ding, G., Liu, X., Herbert, S., Novak, J., Amarasiriwardena, D., & Xing, B. J. G. 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. 130(3-4), 229-239.
- Djurhuus, J., & A.M. Lind. 1992. N-transformation and N-transport in a sandy loam and a coarse sandy soil cropped with spring barley. I. Beskrivelse af forsøgsarealerne, klima, planteproduktion og mineralsk N i jorden. Tidsskrift for Planteavl's Specialserie. Beretning nr. S2213:1-48.
- Dyke, G.V. & Barnard, J. 1976. Suppression of couch grass by Italian ryegrass and broad red clover undersown in barley and field beans. J. Agric. Sci. Camb. 87: 123-126.
- Eriksen, J., M. Askegaard, & K. Søegaard. 2008. Residual effect and nitrate leaching in grass-arable rotations: Effect of grassland proportion, sward type and fertilizer history. Soil Use and Management 24:373-382.
- Fløistad, E., & Munthe, K. M. (2007). Plantemøtet Østlandet 2007. Mat og matkvalitet, Bioenergi, Klimaeffekter, Økologisk landbruk, Plantehelse og plantevern, Tunneldrift i bær og grønnsaker, Korn, Potet, Grønnsaker og urter, Bær. Bioforsk Fokus. Vol 2 Nr. 1.
- Grønlund, A., Bjørkelo, K., Hysten, G. & Tomter, S. 2010. CO₂-opptak i jord og vegetasjon i Norge. Lagring, opptak og utslipp av CO₂ og andre klimagasser. Bioforsk rapport Vol 5. Nr. 162.
- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., Li, Y. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. Prog. Phys. Geogr. 29, 189–217.
- Hansen, E.M. & Djurhuus, J. 1997. Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. Soil & Tillage Research 41:203-219.
- Hansen, E.M., & Djurhuus, J. 1996. Nitrate leaching as affected by long-term N fertilization on a coarse sand. Soil Use and Management 12:199-204.
- Henriksen, T., Fjeld, T., Sturite, I., Molteberg, B. & Eltun, R. 2007. Fangvekst som virkemiddel mot tap av næringsstoff. Bioforsk Fokus. Vol 2 Nr. 2: 23.31.
- Hiitola, K. & Eltun, R. 1996. The effect of undersown cover crops on grain yield and the nitrogen content of plants and soil. Norwegian Agricultural Research.
- IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Chapter 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use: Institute for Global Environmental Strategies (IGES)
- Jørgensen, F. V & Ledgard, S. F. 1997. Contribution from stolon and roots to estimates of the total amount of N₂ fixed by white clover (*Trifolium Repens* L.). Annuals of Botany: 80(5): 641-648.
- Kaspar, T.C., Radke, J.K., Laflen, J.M. 2001. Small grain cover crops and wheel traffic effects on infiltration, runoff and erosion. J. Soil Water Conserv. 56, 160–164.
- Känkänen, H. & Eriksson, C. 2007. Effects of undersown crops on soil mineral N and grain yield of spring barley. 27(1), 25-34.
- Känkänen, H., Eriksson, C. & Rääkköläinen, M. 2001. Effects of annually repeated undersowing on cereal grain yields. Agricultural and Food Science: 10(3): 197-208.
- Kroeze, C., Mosier, A., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S., van Cleemput, O. & Sass, R. 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Chapter 4. Agriculture
- 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 Vol 5 Nr. 30.
- Landbruksdirektoratet. 2018. Fastsettelse av instruks for regionale miljøtilskudd. Avdeling for areal og ressurs. Hentet fra: <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/miljo-og-okologisk/jordbruk-og-miljo/nasjonalt-miljoprogram/nytt-nasjonalt-milj%C3%B8program>

- Lemola, R., Turtola, E. & Eriksson, C. 2000. Undersowing Italian ryegrass diminishes nitrogen leaching from spring barley. *Agricultural and Food Science in Finland* 9:201-215.
- Lewan, E. 1994. Effects of a catch crop on leaching of nitrogen from a sandy loam: Simulations and measurements. *Plant and Soil* 166:137-152.
- Li, X., Petersen, S. O., Sørensen, P. & Olesen, J. E. 2015. Effects of contrasting catch crops on nitrogen availability and nitrous oxide emissions in an organic cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 199, 382-393.
- Lindén, B., Aronsson, H., Engström, L., Torstensson, G. & T. Rydberg. 2006. Kväve mineralisering och utlakning av kväve och fosfor på en lerjord vid Lanna i Västergötland (N mineralization and leaching of N and P on a clay soil). *Ekohydrologi* nr 91, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden (in Swedish).
- Lindén, B., H. Aronsson, A. Gustafson, & G. Torstensson. 1993. Fånggrödor, direktsådd och delad kvävegiva -studier av kväveverkan och utlakning i olika odlingssystem i ett lerjordsförsök i Västergötland (Cover crops, direct drilling and split N-doses. Studies of N effects on crops and leaching on a clay soil). *Ekohydrologi* 33, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden (in Swedish).
- Lindén, B., & B. Wallgren. 1993. Nitrogen mineralization after leys ploughed in early or late autumn. *Swedish Journal of Agricultural Research* 23:77-89.
- Liu, J., Aronsson, H., Blombäck, K., Persson, K. & Bergström, L. 2012. Long-term measurements and model simulations of phosphorus leaching from a manured sandy soil. *Journal of Soil and Water Conservation* 67(2):101-110, doi:10.2489/jswc.67.2.101.
- Liu, J., Ulén, B., Bergkvist, G. & Aronsson, H. 2014. Freezing-thawing effects on phosphorus leaching from catch crops. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 99(1-3), 17-30.
- Liu, J., Bergkvist, G. & Ulén, B. 2015. Biomass production and phosphorus retention by catch crops on clayey soils in southern and central Sweden. *Field Crops Research* Vol 171: 130-137.
- Liu, A., Ma, B., & Bomke, A. J. 2005. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. *69(6)*, 2041-2048.
- Lyngstad, I., & Børresen, T. 1996. Effects of undersown cover crops on yields and soil mineral nitrogen in cereal production in southeast Norway.
- Löfkvist, J., Whalley, W., & Clark, L. J. 2005. A rapid screening method for good root-penetration ability: comparison of species with very different root morphology. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil Plant Science*, 55(2), 120-124.
- Løes, A-K., Henriksen, T. M., Eltun, R. & Sjørsen, H. 2011. Repeated use of green-manure catch crops in organic cereal production – grain yields and nitrogen supply. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and plant science*. 61:2, 164-175. DOI: 10. 1080/09064711003655509.
- Malik, R.K., Green, T.H., Brown, G.F., Mays, D., 2000. Use of cover crops in short rotation hardwood plantations to control erosion. *Biomass Bioenergy* 18, 479–487.
- Mellander, P.-E., Löfvenius, M. O., & Laudon, H. 2007. Climate change impact on snow and soil temperature in boreal Scots pine stands. *85 (1-2)*, 179-193.
- Molteberg, B., & Tangsveen, J. 2003. Fangvekster i korn. *Planteforsk Grønn forskning* I.
- Molteberg, B., & Tangsveen, J. 2004. Fangvekster i korn. *Planteforsk Grønn kunnskap* Vol 8 Nr. 1.
- Molteberg, B., Henriksen, T. M. & Tangsveen, J. 2004. Bruk av gras som fangvekster i korn. *Grønn kunnskap* Vol.8 Nr.12: 1-57.

- Molteberg, B., Henriksen, T.M., & Tangsveen, J. 2005. Fangvekster i korn. *Planteforsk Grønn kunnskap* Vol 9 Nr. 1: 184-192.
- Morgan, R.P.C., 2005. *Soil erosion and conservation*, 3rd edn. Blackwell Science Ltd, Oxford.
- Mullen, M., Melhorn, C., Tyler, D. & Duck, B. 1998. Biological and biochemical soil properties in no-till corn with different cover crops. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53(3), 219-224.
- Mørkved, P. T., Dörsch, P., Henriksen, T. M., & Bakken, L. R. 2006. N₂O emissions and product ratios of nitrification and denitrification as affected by freezing and thawing. *Soil Biology Biochemistry*, 38(12), 3411-3420.
- Neumann, A., Torstensson, G. & Aronsson, H. 2012. Nitrogen and phosphorus leaching losses from potatoes with different harvest times and following crops. *Field Crops Research* 133:130-138.
- Ohlander, L., Bergkvist, F., Stendahl, F. & Kvist, M. 1996. Yield of catch crops and spring barley as affected by time of undersowin. *Acta Agriculturae Scandinavica* 46: 161-168.
- Petersen, S. O., Mutege, J. K., Hansen, E. M., & Munkholm, L. J. 2011. Tillage effects on N₂O emissions as influenced by a winter cover crop. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(7), 1509-1517.
- Poeplau, C., Aronsson, H., Myrbeck, Å., & Kätterer, T. 2015. Effect of perennial ryegrass cover crop on soil organic carbon stocks in southern Sweden. *Geoderma Regional*, 126-133.
- Poeplau, C., & Don, A. J. 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 200, 33-41.
- Reeves, D.W. 1994. Cover crops and rotations. In *crops residue managemnet*. Hatfield, J. L., Steward, B.A., Eds. *Advances in Soil Science*; Lewis Publishers: Boca Raton, Fl., 125-172.
- Reimer, M., Ringselle, B., Bergkvist, G., Westaway, S., Wittwer, R., Baresel, P., Mangerud, K., Finckh, M. & Brandsæter, L.O. 2019. The effects of tillage and subsidiary crops on the weed abundance. (under publisering).
- Ringselle, B., Bergkvist, G., Aronsson, H & Andersson, L. 2015. Under-sown cover crops and post-harvest mowing as measures to control *Elymus repens*. *Weed Research* 55, 309-319.
- Ringselle, B., Bertholtz, E., Magnuski, E., Brandsæter, L. O., Mangerud, K. & Bergkvist, G. 2018. Rhizome Fragmentation by Vertical Disks Reduces *Elymus repens* Growth and Benefits Italian Ryegrass-White Clover Crops. *Frontiers in Plant Science* 8.
- Ringselle, B., Prieto-Ruiz, I., Andersson, L., Aronsson, H. & Bergkvist, G. 2017. *Elymus repens* biomass allocation and acquisition as affected by light and nutrient supply and companion crop competition. *Ann Bot-London* 119, 477-485.
- Rivedal, S. & Barcena, T.G. 2014. Kartlegging av klimabidrag og aktuelle klimatiltak i landbruket i Hordaland. *Bioforsk rapport* Vol 9 Nr. 135.
- Russenenes, A. L., Korsæth, A., Bakken, L. R. & Dörsch, P. 2016. Spatial variation in soil pH controls off-season N₂O emission in an agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 99, 36-46.
- Ryder, M.H., Fares, A., 2008. Evaluating cover crops (sudex, sunn hemp, oats) for use as vegetative filters to control sediment and nutrient loading from agricultural runoff in a Hawaiian watershed. *J. Am. Water Res. Assoc.* 44, 640– 653.
- Schipanski, M. E., Barbercheck, M., Douglas, M. R., Finney, D. M., Haider, K., Kaye, J. P. & Tooker, J. J. A. S. 2014. A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *125*, 12-22.

- Simmelsgaard, S.E. 1991. Slutrapport for projektet: Kvælstofudvaskning efter udbringning af kartoffelfrugtsaft. (Final report of the project: N leaching after application of potato juice) Statens Planteavlsvforsk. Working paper, Aarhus University.
- Stabbetorp, H. 2014. Landbruketsutviklingstrekk siden 1950. Utviklingstrekk av betydning for vannkvaliteten. Vann nr. 01. 89-96
- Stenerud, S., K. Mangerud, H. Sjursen, T. Torp & L.O. Brandsæter. 2015. Effects of Combined Weed Harrowing and Undersown Clover on Weed Growth and Cereal Yield. *Weed Research* 55: 493-502.
- Stenberg, M., H. Aronsson, B. Lindén, T. Rydberg, & A. Gustafson. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil and Tillage Research* 50:115-125.
- Strand, E. (red.) (2017). Jord-og Plantekultur 2017. Forsøk i korn, olje-og proteinvekster, engfrøavl og potet 2016. In: Norsk institutt for bioøkonomi.
- Sturite, I., Henriksen, T. M., & Breland, T. A. J. 2007. Winter losses of nitrogen and phosphorus from Italian ryegrass, meadow fescue and white clover in a northern temperate climate. *Acta Agriculturae Scandinavica B-Plant Soil Sciences*, 120(2-4), 280-290.
- Sturite, I., Rivedal, S. & Dörsch, P. 2014. Nitrogen-tap i form av N₂O fra kløverrik eng gjennom vinteren. I: Fløistad, E. og Günther, M. (red.). Bioforsk FOKUS, 9 (2), s. 86.
- Sturite, I., Uleberg, M.V., Henriksen, T.M., Jørgensen, M., Bakken, A.K. & Breland, T.A. 2006. Accumulation and loss of nitrogen in white clover (*Trifolium repens* L.) plant organs as affected by defoliation regime on two sites in Norway. *Plant and Soil* 282: 165-182.
- Sjursen, H., L.O. Brandsæter, & J. Netland. 2012. Effect of repeated clover undersowing, green manure ley and harrowing on weed seed bank and biomass in a strategy for organic grain production. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science* 62: 138-150.
- Sturm, D.J., Peteinatos, G. & Gerhards 2018. Contribution of allelopathic effects to the overall weed suppression by different cover crops. *Weed Research* 58: 331-337.
- Styczen, M.E., Morgan, R.P.C. 1995. Engineering properties of vegetation. In: Morgan, R.P.C., Rickson, R.J. (Eds.), *Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach*. E & F.N. Spon, London, pp. 5-58.
- Teasdale, J.R., L.O. Brandsæter, A. Calegari & F. Skora Neto. 2007. Cover crops and weed management (chapter 4). I: CAB International book 'Non-chemical weed management' (Ed. Mahesh K. Upadhyaya & Robert E. Blackshaw). CAB International. 239 pp.
- Thapa, R., Mirsky, S.B. & Tully, K. L. 2018. Cover crops reduce nitrate leaching in agroecosystems: A global meta-analysis. *Journal of Environmental Quality*: Vol 47 Nr. 6: 1400-1411.
- Thomsen, I.K., & Hansen, E. M. 2014. Cover crop growth and impact on N leaching as affected by pre- and postharvest sowing and time of incorporation. *Soil Use and Management* 30:48-57.
- Thomsen, I.K., Hansen, J. F. , Kjellerup, V. & Christensen, B. T. 1993. Effects of cropping system and rates of nitrogen in animal slurry and mineral fertilizer on nitrate leaching from a sandy loam. *Soil Use and Management* 9:53-58.
- Thorup-Kristensen, K. 1993. The effects of nitrogen catch crops on the nitrogen nutrition of a succeeding crop. Effects through mineralization and pre-emptive competition. *Acta Agriculturae Scandinavica* 43: 74-81.
- Thorup-Kristensen, K. 1994. The effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops. *Fertilizer Research*: 37(3): 227-234.

- Torstensson, G. & Aronsson, H. 2000. Nitrogen leaching and crop availability in manured catch crop systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56(2): 139-152.
- Torstensson, G., H. Aronsson, & L. Bergström. 2006 Nutrient use efficiencies and leaching of organic and conventional cropping systems in Sweden. *Agronomy Journal* 98:603-615.
- Uhlén, G., Bakken, L. & Haugen, L.E. 1996. Nutrient and water balances in lysimeter experiments. II. Nitrogen and mineral leaching and balances. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10:339-354.
- Ulén, B. 1997. Nutrient losses by surface runoff from winter green and spring-ploughed soil in the south of Sweden. *Soil & Tillage Research* 44:165-177.
- Ulén, B. & Kalisky, T. 2005. Water erosion and phosphorus problems in an agricultural catchment—Need for natural research for implementation of the EU Water Framework Directive. *Environmental Science & Policy* 8:477-484.
- Valand, S. Nøkland, A., Sundet, H. 2017. Karbonbinding i norsk landbruksjord. Norsk Landbruksrådgivning Østafjells
- Valkama, E., Lemola, R., Känkänen, H. & Turtola, E. 2015. Meta-analysis of the effects of undersoen catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 203, 93-101
- Vandsemb, S. M., & Bechmann, M. 2004. Miljøeffekter av fangvekst i Hedmark fylke.
- Wagner-Riddle, C., & Thurtell, G. 1998. Nitrous oxide emissions from agricultural fields during winter and spring thaw as affected by management practices. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52(2-3), 151-163.
- Wallgren, B. & Lindén, B. 1994. Effects of catch crops and ploughing times on soil mineral nitrogen. *Swedish Journal of Agricultural Research (Sweden)*.
- West, T. O & Post, W. M. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 66(6): 1930-1946.
- Øgaard, A. F. 2015. Freezing and thawing effects on phosphorus release from grass and cover crop species. *Acta Agriculturae Scandinavica, section B – Soil and Plant Science*, 65(6), 529-536.
- Øygarden, L. & Bechmann, M. 2017. Synergier av miljøtiltak i jordbruket – Klimagassutslipp, klimatilpassing, vannforvaltning og luftforurensinger i norsk jordbruk. NIBIO Rapport Vol 3 Nr. 51.

Vedlegg

Vedlegg 1. Fangvekster omtalt i rapporten med latinske navn.

Fangvekst	Latinsk navn
Ettårig raigras	<i>Lolium multiflorum</i> Lam. var. <i>westerwoldicum</i>
Toårig raigras (Italiensk)	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.
Flerårig raigras	<i>Lolium perenne</i> L.
Hundegras	<i>Dactylis glomerata</i>
Timotei	<i>Phleum pratense</i>
Engsvingel	<i>Festuca pratensis</i>
Rødsvingel	<i>Festuca rubra</i>
Lodnevikke	<i>Vicia villosa</i>
Tiriltunge	<i>Lotus corniculatus</i>
Blodkløver	<i>Trifolium incarnatum</i>
Rødkløver	<i>Trifolium pratense</i>
Hvitkløver	<i>Trifolium repens</i>
Honningurt	<i>Phacelia tanacetifolia</i>
Reddik	<i>Raphanus sativus</i>
Førreddik	<i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiformis</i>
Sikori	<i>Cichorium intybus</i>
Luserne	<i>Medicago sativa</i>
Sneglebelg	<i>Medicago lupulina</i>
Fôrvikke	<i>Vicia sativa</i>
Bygg	<i>Hordeum vulgare</i>
Lupiner	<i>Lupinus</i>
Rug	<i>Secale</i>
Hvitsennep	<i>Sinapis alba</i>
Indisk hamp	<i>Cannabis sativa</i> subsp. <i>indica</i>
Soyabønne	<i>Glycine max</i>
Bokhvete	<i>Fagopyrum esculentum</i>
Svart havre	<i>Avena strigosa</i>

Etterord

Tiltaksveilederen	www.nibio.no/tiltak
Nøkkelord:	Miljøtiltak, fangvekst, nitrogen, fosfor, klimagassutslipp
Key words:	Environmental measures, cover crop, catch crop, nitrogen, phosphorus, greenhouse gas emissions

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.