

Bioforsk Rapport

Vol. 4 Nr. 175 2009

Klimatiltak i jordbruket - mindre lystgassutslipp gjennom mindre N-tilførsel til jordbruksareal og optimalisering av dyrkingsforhold.

Lillian Øygarden¹, Lars Nesheim², Peter Dörsch³, Gustav Fystro⁴, Sissel Hansen⁵, Atle Hauge¹, Audun Korsæth⁶, Knut Krokann⁷ og Ole Kristian Stornes⁷

¹Bioforsk Jord og miljø, ²Bioforsk Midt-Norge Kvithamar, ³Institutt for plante- og miljøvitenskap, UMB, ⁴Bioforsk Øst Løken, ⁵Bioforsk Økologisk Tingvoll, ⁶Bioforsk Øst Apelsvoll, ⁷Norsk Institutt for landbruksøkonomisk forskning



NILF

Norsk institutt for
landbruksøkonomisk forskning





Hovedkontor
Frederik A. Dahls vei 20,
1432 Ås
Tlf: 03 246
Fax: 63 00 92 10
post@bioforsk.no

Bioforsk Jord og miljø
Frederik A. Dahls vei 20
1432 Ås
Tlf: 03 246
Faks: 63 00 94 10
jord@bioforsk.no

Tittel/Title:

Klimatiltak i jordbruket - mindre lystgassutslipp gjennom mindre N-tilførsel til jordbruksareal og optimalisering av dyrkingsforhold

Forfatter(e)/Autor(s):

Lillian Øygarden, Lars Nesheim, Peter Dörsch, Gustav Fystro, Sissel Hansen, Atle Hauge, Audun Korsæth, Knut Krokann og Ole Kristian Størnes

<i>Dato/Date:</i>	<i>Tilgjengelighet/Availability:</i>	<i>Prosjekt nr./Project No.:</i>	<i>Arkiv nr./Archive No.:</i>
22.12.09	Åpen	2110613	2009/455-1/621.6
<i>Rapport nr./Report No.:</i>	<i>ISBN-nr.:</i>	<i>Antall sider/Number of pages:</i>	<i>Antall vedlegg/Number of appendix:</i>
175/2009	978-82-17-00590-2	83	1 vedlegg

<i>Oppdragsgiver/Employer:</i>	<i>Kontaktperson/Contact person:</i>
Statens forurensningstilsyn (SFT). Prosjekt 2009/012.	Harold Leffertstra

<i>Stikkord/Keywords:</i>	<i>Fagområde/Field of work:</i>
N-utnyttelse, lystgass, gjødsling, drenering, jordpakking, tiltak, virkemidler N- nitrous gases, fertilization, drainage, compaction, cost efficient measures,	Landbruk-miljøeffekter Agriculture- environmental effects

Sammendrag

Se utvidet sammendrag

Summary:

<i>Land/fylke:</i>	Norge
<i>Kommune:</i>	Ås, Stjørdal, Øystre Slidre, Tingvoll, Østre Toten og Bodø
<i>Sted/Lokalitet:</i>	Ås, Kvithamar, Løken, Tingvoll, Apelsvoll og Bodø

Godkjent / Approved

Prosjektleder / Project leader

Marianne Bechmann

Lillian Øygarden

Forord

Prosjektet: Klimatiltak i jordbruket - Mindre lystgassutslipp gjennom mindre N - tilførsel til jordbruksareal (mer effektiv og presis gjødsling) og optimalisering av dyrkingsforhold (pakking, drenering, erosjon) er gjennomført på oppdrag fra SFT. Det er nærmere beskrevet i ”Tilsagn om prosjektstøtte prosjekt nr 4009/012”. Kontakt person i SFT har vært Harold Leffertstra og det har også vært tett kontakt med Per Fjeldal i SFT. Utredningen er utført som del av bakgrunnsmateriale til ”Etatsgruppen Klimakur 2020” der muligheter for reduksjoner av klimagassutslipp for ulike sektorer er vurdert og kostnadsberegnet.

Denne rapporten er en videreføring og utdyping av tema utredet i rapporten; Hansen et al. 2009: Reduserte nitrogenutslipp gjennom bedre spredningsrutiner for husdyrgjødsel. Bioforsk rapport vol 4. Nr 188/2009.

Rapporten er gjennomført som et samarbeid mellom Bioforsk, NILF og UMB. Bioforsk ved Lillian Øygarden har koordinert utredningsarbeidet og rapportering og vært kontakt til SFT. En rekke personer har bidratt med det faglige grunnlaget for de enkelte kapitler og til de samlede vurderinger av tiltakspakker, Fra Bioforsk har disse deltatt:

Sissel Hansen har bidratt til kapittel 4 om jordpakking og beregninger av utslipp lystgass ved bedre drenering og pakking. Hun har også bidratt til kapittel 10, 11 og til de generelle vurderinger i rapporten.

Atle Hauge har bidratt med kunnskap om drenering til kapittel 4.

Lars Nesheim har hatt hovedansvar for kapittel 5 om vurdering av husdyrgjødselhåndtering. Han har også hatt hovedansvar for å sette sammen tiltakspakkene i kapittel 8 og ved sammenstilling av rapporten.

Audun Korsæth har hatt hovedansvaret for kapittel 6 med vurdering av nitrogen gjødsling til åpen åker vekster.

Gustav Fystro har hatt hovedansvaret for kapittel 7 med vurdering av nitrogen gjødsling til engvekster.

Roar Linjordet har bidratt med kunnskap om nitrogen beregninger i forhold til Gøteborgprotokollen, internasjonale beregningsmetoder, effekter av ulike metoder for husdyrgjødselhåndtering.

UMB ved Peter Dörsch, Institutt for Plante og Miljøvitenskap har gjort vurdering av nye beregningsmetoder for lystgassutslipp i kapittel 10 og bidratt med oversikt over forskningsbehov for utslipp av lystgass i kapittel 11.

NILF ved Knut Krokann og Ole Kristian Stornes har hatt ansvaret for kapitlene; Kostnadsberegning av tiltak, kostnadseffektivitet i tiltakspakkene i kapittel 8 og for virkemiddelanalyse i kapittel 9. NILF har også fremskaffet og gått gjennom tall for kostnader i kapittel 2- 7. Stornes har særlig bidratt til kapittel 4 og 5, mens Krokann har hatt hovedansvar for bidragene til kapittel 8 og for kapittel 9.

I noen av kapitlene er det også andre personer ved instituttene som har bidratt med data, vurderinger og gjennomlesing av manus.

Det er gjennomført flere møter med SFT i løpet av prosjektperioden der forutsetninger for utredningen, ulike tiltaksstrategier, alternative beregningsmåter og foreløpige resultater er diskutert. Vi takker SFT for samarbeidet i prosjektet.

Takk til alle som har bidratt.

Ås 22.12.2009

Innhold

1.	Sammendrag	6
2.	Innledning	8
3.	Metoder	10
4.	Optimalisering av dyrkingsforhold	12
4.1	Drenering av vassjuk jord	12
4.1.1	Bedring av dreneringsgrad der jorda er vassjuk	12
4.1.2	Mulig effekt av bedre drenering	13
4.1.3	Virkemidler for å bedre drenering av jord	14
1)	Kartlegging av andel dårlig drenert jord i Norge	14
4.1.4	Kostnader med dreneringstiltak	15
4.2	Jordstruktur og jordpakking	17
4.2.1	Effekt av jordpakking på utslipp av lystgass	17
4.2.2	Tiltak for å bedre jordstruktur og redusere jordpakking	19
4.2.3	Mulig effekt av tiltak for å redusere jordpakking	19
4.2.4	Kostnader med tiltak for å redusere jordpakking	20
4.3	Bedring av kalktilstanden	21
4.3.1	Virkemiddel for bedre kalktilstand	22
5.	Husdyrgjødselhåndtering	23
5.1	Bruk av miljøvennlig spredeutstyr for husdyrgjødsel	24
5.2	Optimal lagerkapasitet for husdyrgjødsel	26
5.3	Tilsetning av vann i husdyrgjødsel	27
5.4	Bedre tilpasning mellom bruk av mineral- og husdyrgjødsel	29
5.5	Aktuelle tiltak	29
6.	Nitrogengjødsling til åpen- åkervekster	30
6.1	Sørge for at gjødslingsplanen blir fulgt i praksis	30
6.2	Innskjerpe bruk av middelavling som forventet avling i gjødslingsplanene	31
6.3	Utvide bruken av delt gjødsling (unngå å tildele all gjødsla ved såing)	33
6.4	Ta i bruk presisjonsgjødsling	37
6.5	Endring i normene	41
6.6	Kostnader ved redusert bruk av mineralgjødsel i åker	43
7.	Nitrogengjødsling eng	44
7.1	God gjødslingsplanlegging og oppfølging av planer	44
7.2	Etablere kontrollrutiner	46
7.3	Sikre gode vurderinger av avlingsrespons på gjødsling	47
7.4	God utnytting av husdyrgjødsla	51
7.5	Mer bruk av kløver	52
7.6	Endring i normene	53
7.7	Kostnader ved redusert bruk av mineralgjødsel i eng	54
8.	Tiltakspakker	56
9.	Virkemiddelanalyse	61
9.1	Generelt om virkemidler	61
9.2	Aktuelle virkemidler knyttet til de ulike tiltakene	62
9.2.1	Ny spredeteknikk	62
9.2.2	Økt lagerkapasitet	63
9.2.3	Tilsetning av vann i husdyrgjødsel	63
9.2.4	Bedre oppfølging av gjødslingsplan	64
9.2.5	Redusert gjødsling	65
9.2.6	Drenering	65
9.2.7	Jordpakking	65
9.3	Egenskaper og effekter ved de ulike virkemidlene	66
10.	Vurdering av nye beregningsmetoder	68
10.1	Estimater basert på målinger	68
10.2	Estimater basert på utslippsfaktorer (IPCC)	69

10.3	Crutzen <i>et al.</i> 2008	70
10.4	Statistiske modeller	71
10.5	Beregninger basert på prosessmodeller	72
10.6	Nye beregningsmetoder - oppsummering	73
11.	Forskningsbehov	74
11.1	Kvantifisering av N ₂ O utslipp	74
11.2	Tiltak som reduserer utslipp av N ₂ O	75
11.3	Helhetlige analyser	76
12.	Referanser	77
13.	Vedlegg.	80

1. Sammendrag

Innen 2020 skal de norske utslippene av klimagasser reduseres med 15 til 17 millioner tonn. Etatsgruppen Klimakur 2020 skal vurdere virkemidler og tiltak for å oppfylle dette klimamålet. Reduksjoner kan skje innen de enkelte sektorer eller tverrsektorielt. Jordbrukssektoren står for ca 9 % av de norske utslipp av klimagasser. For å bedre grunnlaget for tiltak og virkemidler i jordbrukssektoren ønsket SFT å utrede muligheter for tiltak i jordbruket som kunne redusere lystgassutslippene. Dette prosjektet har utredet klimagevinster og kostnader ved ulike tiltak for å redusere lystgassutslippene gjennom mindre nitrogen tilførsel til jordbruksjord og optimalisering av dyrkningsforhold frem mot 2020 og 2030.

Utslipp av lystgass beregnes med IPCC's Tier 1 utslippsfaktorer som ikke er ment å beskrive utslipp av lystgass for hvert jorde, vekst eller år, men å gi et estimat på det totale utslippet i nasjonal rapportering. Metoden beregner tap av lystgass som en gitt prosentvis tap ut fra tilført mengde nitrogen. IPCCs metode er ikke egnet til å vurdere effekten av enkle dyrkingssystemer med mindre man har utslippsfaktorer som er spesifikke for de dyrkingssystemer man estimerer utslipp for. IPCC oppfordrer sterkt til bruk av slike regionaliserte utslippsfaktorer (Tier 2), men krever at disse er kvalitetssikret og basert på publiserte måledata. Norge bruker offisielt Tier 1 metoden og det foreligger ikke systematiske helårsmålinger av lystgassutslipp fra ulike norske dyrkingssystemer eller fra effekter av tiltak og ulik agronomisk praksis. Når slik dokumentasjon og data ikke er tilgjengelig må en baserer vurderinger på forenklet metodikk og beregninger med stor usikkerhet.

I denne rapporten er det gjort vurderinger av tiltak for bedre utnyttelsen av nitrogen tilførsel til jordbruksareal- mer effektiv og presis nitrogen gjødsling. Bedre nitrogenutnyttelse gir risiko for mindre tap og dermed mindre behov for tilførsel av nitrogen. Denne nitrogenbesparelsen er i rapporten omregnet til mengde lystgass og videre til CO₂ ekvivalenter. Det er også vurdert effekter av hva optimalisering av dyrkningsforhold som jordpakking og drenering har å si for å bedre nitrogenutnyttelsen og redusere risiko for tap. Følgende tiltak er utredet: Bedre husdyrgjødseldisponering; Bruk av stripespredere eller nedfellere av husdyrgjødsel eller innblanding av vann i husdyrgjødsel for å redusere risiko for tap og bedre nitrogenutnyttelsen. Bygging av tilleggsleger kan gi muligheter for å utnytte husdyrgjødsel bedre i vekstsesongen. Bedre oppfølging av gjødselplan er utredet både for gjødsling til eng og åker. Her er vurdert effekt av bedre oppfølging av gjødselplan, bedre tilpasning mellom mineral og husdyrgjødsel, gjødsle til middelavling, bruk av delt gjødsling, presisjons gjødsling. Det er også beregnet effekt på lystgasstap av å redusere gjødsling til under norm. Dette vil føre til reduserte avlinger og må i andre sammenhenger vurderes opp mot ønsket om størrelsen på matproduksjonen. Bedre drenering og redusert jordpakking vil føre til bedre nitrogenutnyttelse og mindre risiko for lystgasstap. Slike tiltak krediteres ikke ved dagens utslippsberegning, men vil i praktisk jordbruk føre til bedre nitrogenutnyttelse.

Det er satt sammen to tiltakspakker der nitrogeneffekt og kostnader er beregnet. Tiltakspakke 1 er satt sammen av tiltak som vil bedre nitrogen effektiviteten uten å redusere avlinger. Det er beregnet en besparelse av 365 tonn lystgass. Kostnadene for denne pakken er beregnet til 548 kr /tonn CO₂. Det dyreste tiltaket i pakken er bygging av tilleggsleger for husdyrgjødsel som har en kosteffektivitet på kr 9.435 per tonn CO₂. Tiltaket bedre oppfølging av gjødslingsplanene vil spare kostnader. I tillegg kommer beregnet miljønytte av redusert nitrat og ammoniak utslipp.

Tiltakspakke 2 er beregnet å gi en ytterligere reduksjon på 200 tonn lystgass. Det er beregnet 10 % reduksjon av gjødsling under norm som vil redusere avlingsnivå. I pakken er det også beregnet bedre drenering og tiltak mot jordpakking som vil gi avlingsøkning, men ikke reduksjon i lystgassutslipp med dagens metodikk.

NILF har gjort beregninger av kostnadseffektivitet og vurdert administrative, juridiske og økonomiske virkemidler. For at aktuelle tiltak mot lystgassutslipp fra jordbruket skal bli gjennomført, vil det måtte innføres virkemidler av ulik art. For tiltak som medfører vesentlig økte kostnader for foretakene, vil det være nødvendig med betydelige økonomiske virkemidler og/eller sterke juridiske virkemidler for å få ønsket effekt. For tiltak som er lite belastende, eller til og med er bedriftsøkonomisk lønnsomme, vil virkemidlene generelt kreve relativt lite ressurser for å gi god effekt.

Selv om det i utgangspunktet er slik at en bør bruke virkemidler som medfører at det mest kostnadseffektive tiltaket iverksettes, kan det være aktuelt å kombinere de ulike virkemidlene for å stimulere eller framtvinge at ønskete tiltak skal iverksettes. Ett eksempel kan være at innføring av forbud mot husdyrgjødselspredning utenom en viss periode følges opp av investeringsstøtte til gjødsellager slik at foretakene lettere kan tilpasse seg et strengere regelverk og at en dermed i mindre grad risikerer at foretakene legger ned drifta.

Administrative virkemidler, for eksempel informasjonskampanjer, kunnskapsoppbygging, rådgivning o.l. For tiltak som ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomme, vil det være mindre aktuelt med bruk av administrative virkemidler. Et virkemiddel som grenser til virkemidlet tilskudd, er inngåelse av avtaler mellom myndigheter og foretak eller grupper av foretak (kollektive avtaler) der foretakene får støtte hvis de oppfyller vilkårene i avtalen.

Juridiske virkemidler er lover og forskrifter som setter krav (forbud eller påbud) om visse former for aktivitet eller atferd. Det kan være forbud mot spredning av husdyrgjødsel gjennom luft (breispredning), forbud mot spredning utenom en bestemt periode, forbud mot gjødsling over et visst nivå, strengere krav til spredeareal og krav om miljøplan.

Økonomiske virkemidler for å hindre lystgassutslipp kan være tilskudd til miljøvennlig spredning av husdyrgjødsel, investeringsstøtte til bygging av gjødsellager, investeringsstøtte til drenering, investeringer i bedre dekkutrustning, avgift på mineralgjødsel, omsettelige kvoter på gjødsel eller utslipp, skjerpede krav knyttet til utbetaling av produksjonstilskuddet, for eksempel at bløtgjødsel skal spres ved nedlegging eller nedfelling.

Hvis en skal oppnå at det settes inn spesielle tiltak som eks drenering på de arealene som har det største potensialet for reduksjon av lystgassutslipp, vil dette medføre administrative kostnader både når det gjelder utvikling av metodikk, kartlegging og rådgivning overfor brukerne av disse arealene. Størrelsen på eventuelle tilskudd vil være av stor betydning for om tiltaket realiseres. Det er eks angitt behov for betydelige midler hvis drenering skal få det omfanget som foreslås (158 000 dekar).

Rapporten fokuserer også på videre forskningsbehov, særlig på behovet for norske målinger som kan dokumentere lystgasstap fra ulike driftssystemer og hvordan ulike agronomisk praksis påvirker dette. Også for kostnadseffektivitet er det behov for data.

Rapporten har gjort beregninger ut fra gitte forutsetninger og viser også at ulike formål trenger å avklares i forhold til hverandre. Det er utredet eks tiltak som redusert gjødsling ned til et nivå som vil kunne gi avlingsnedgang. Et slikt tiltak kan isolert sett kan redusere risiko for lystgassutslipp men må også vurdere opp mot avveininger av hvor stor matproduksjonen skal være i Norge.

Rapporten viser at jordbruket har potensialet for å gjennomføre en rekke tiltak som kan bedre nitrogeneffektiviteten og reduser risiko for lystgasstap. Dette må planlegges i forhold til drift og agronomiske forhold på den enkelte gård og til dette er ikke beregningsmetoder basert på sjablongmessige utslippsprosenten gode nok. Det er behov for bedre kunnskap om disse prosesser, usikkerheter og variasjon og et bedre tilgjengelig datagrunnlag, også om kostnader.

2. Innledning

Innen 2020 skal de norske utslippene av klimagasser reduseres med 15 til 17 millioner tonn. Etatsgruppen Klimakur 2020 skal vurdere virkemidler og tiltak for å oppfylle dette klimamålet. Reduksjoner kan skje innen de enkelte sektorer eller tverrsektorielt. Jordbrukssektoren står for ca 9 % av de norske utslipp av klimagasser. For å bedre grunnlaget for tiltak og virkemidler i jordbrukssektoren ønsket SFT å utrede muligheter for tiltak i jordbruket som kunne redusere lystgassutslippene. Dette prosjektet har utredet klimagevinster og kostnader ved ulike tiltak for å redusere lystgassutslippene gjennom mindre nitrogen tilførsel til jordbruksjord og optimalisering av dyrkningsforhold frem mot 2020 og 2030. SFT ønsket også at utredningen skulle sees i sammenheng med LMDs klimamelding og Nasjonalt Utviklingsprogram for Klimatiltak i landbruket.

Rapporten bygger på utredningen (oppdrag for SFT): Hansen et al. 2009. Reduserte nitrogenutslipp gjennom bedre spredningsrutiner for gjødsel- utslippsreduksjon og kostnader ut fra et samfunnsperspektiv. Den rapporten var fokusert på husdyrgjødseldisponering og utnyttelse av nitrogen i grovfjordistrikt. Det var en litteratur studie med kunnskapsstatus over husdyrgjødselmengder og utvikling over tid, disponering, og tapsprosesser ved ulike lagring og husdyrgjødseldisponering. I løpet av den utredningen ble det bestemt å igangsette et nytt prosjekt der en også skulle utrede åker vekster og gjødsling og andre tiltak som har betydning for nitrogenutnyttelsen som eks mer optimale dyrkingstekniske forhold som jordpakking og drenering. Dette er tiltak som ikke krediteres i nåværende metodikk for utslippsberegninger (1, 25 % av N- tilførsler). Slike tiltak har imidlertid betydning for risikoen for de reelle utslipp av lystgass og for landbrukets faktiske muligheter til å redusere utslipp. Rapporten beregner muligheter for bedre nitrogenutnyttelse ved ulike tiltak. Nitrogenmengder som beregnes spart ved ulike tiltak kan omregnes til mengde lystgass og videre til CO₂ ekvivalenter. Dette er imidlertid ikke uttrykk for hvor mye som reelt tapes, men er en teoretisk metode for utslippsberegning og vurdering av effekter av tiltak. Det gir mulighet for å kunne vurdere effekter og prioritere tiltak som har effekt.

I følge SFT sitt tildelingsbrev med vedlegg var det to hovedformål med utredning av tiltak:

1. Tiltak som krediteres med dagens beregningsmetodikk.

En hovedstrategi ved tiltakene må være å redusere tap av N til luft og vann slik at behovet for tilførsel av N minkes. Dette kan oppnås gjennom en generell senkning av gjødslingsnivåene, optimalisering i tid, rom og tildelingsmåte samt maksimal utnyttelse av husdyrgjødsel-N, slik at mineralgjødsel-N kan reduseres tilsvarende.

Det skal utredes samletiltak som kan redusere mengden tilført N med eks 10- 30 % til jordbruksjord. Ved et bestemt reduksjonsnivå vil avlingene begynne å gå ned. En skal utrede for reduksjoner betydelig større enn det nivået der avlingene begynner å falle. Tiltakene bør deles inn i tiltak på åker og eng.

Reduksjonene kan oppnås gjennom kombinasjon av:

- Tilpasning av **gjødslingsmengden** etter plantenes behov.
- Optimalt **tilførselstidspunkt**.
- Optimal **tilførselsmåte** som sikrer maksimal utnyttelse av N i husdyrgjødsel. Dette forutsettes å gi en tilsvarende reduksjon av behovet for mineralgjødsel- N.
- Gjennomføring av disse tiltak kan kreve økt lagringskapasitet, transport av husdyrgjødsel, eller endringer i lokalisering av husdyrproduksjonen.

- Optimale *dyrkningsmetoder* som reduserer N-tap ved erosjon og avrenning; dette vil ha effekt gjennom redusert behov for gjødsling som erstatning for nitrogenet som har gått tapt.

2. Tiltak som sannsynligvis gir reduksjoner, men som krever nye beregningsmetoder med dokumentasjon og aksept fra UNFCCC for å få kreditt i utslippsregnskapet:

- Optimalisering av dyrkningsforhold – pakking, drenering, erosjonsforebygging.
- FOU-behov for å dokumentere utslippsreduksjonene.

Det skal rapporteres:

1. Beskrivelse av tiltaket.
2. Reduksjon av lystgassutslipp (i forhold til fremskrevet utslipp i referansebanen).
3. Kostnader (samfunnsøkonomiske, eventuelt også bedriftsøkonomiske):
 - Investerings- og driftskostnader (dette omfatter også arbeidskostnader, f.eks i form av merarbeid for bonden, men også i veiledningstjenesten og til ekstra prøvetaking/analyser av jordprøver og husdyrgjødsel).
 - Avlingstap, og den økonomiske verdien av dette.
4. Sparte kostnader:
 - Mindre innsats av mineralgjødsel.
 - Soppmidler?
5. Andre effekter:
 - Reduserte utslipp av NH₃, NO₃ og fosfor, mengder og økonomisk verdsetting av disse reduksjonene. Reduserte utslipp skal skje relatert til resipient (Skagerrak- høyt, Norskehavet lavt).
 - Redusert erosjon.
 - Økt import og utslipp knyttet til produksjon i eksportlandene ved eventuelle avlingstap i Norge og transport fra eksportland til Norge.
6. Eventuelle hindringer.
7. Forslag til virkemidler.

Prosjektet leverte foreløpige nøkkeltall på effekter av tiltak i juni 2009. Utover høsten ble forutsetninger for beregninger revidert sammen med oppdragsgiver og tiltak ble satt sammen til tiltakspakker. Disse er også blitt revidert. Fristen for levering ble også utvidet. SFT ønsket i løpet av høsten også ytterligere vurderinger av kostnadseffektivitet og vurdering av virkemidler og gjorde en separat avtale med NILF om dette. NILF har levert bidrag og beregninger som er inkludert i denne rapporten, hovedsakelig i kapittel 8 og 9. Bioforsk har hatt hovedarbeidet på vurdering av nitrogenereffekter av de ulike tiltak.

3. Metoder

Formålet med beregningene av lystgassutslipp basert på IPCC's Tier 1 utslippsfaktorer er ikke å beskrive utslipp av lystgass for hvert jorde, vekst eller år, men å gi et estimat på det totale utslippet i nasjonal rapportering. IPCCs metode er ikke egnet til å vurdere effekten av enkle dyrkingssystemer med mindre man har utslippsfaktorer som er spesifikke for de regionaliserte utslippsfaktorer (Tier 2), men forlanger at disse er kvalitetssikret og basert på publiserte måledata. I kapittel 10 er det gitt en nærmere beskrivelse av de ulike metoder, hva som beregnes, forutsetninger, datagrunnlag etc.

I denne rapporten er det gjort vurderinger av tiltak for bedre utnyttelsen av nitrogen tilførsel til jordbruksareal- mer effektiv og presis nitrogen gjødsling. Bedre nitrogenutnyttelse gir risiko for mindre tap og dermed mindre behov for tilførsel av nitrogen. Denne nitrogenbesparelsen er i rapporten omregnet til mengde lystgass og videre til CO₂ ekvivalenter. Det er også vurdert effekter av hva optimalisering av dyrkingsforhold som jordpakking og drenering har å si for å bedre nitrogenutnyttelsen og redusere risiko for tap.

Følgende tiltak er utredet (kapittel 2- 7):

Bedre husdyrgjødseldisponering; Bruk av stripespredere eller nedfellere av husdyrgjødsel eller innblanding av vann i husdyrgjødsel for å redusere risiko for tap og bedre nitrogenutnyttelsen. Bygging av tilleggslager kan gi muligheter for å utnytte husdyrgjødsel bedre i vekstsesongen.

Bedre oppfølging av gjødselplan er utredet både for gjødsling til eng og åker. Her er vurdert effekt av bedre oppfølging av gjødselplan, bedre tilpasning mellom mineral og husdyrgjødsel, gjødsle til middelavling, bruk av delt gjødsling, presisjons gjødsling. Det er også beregnet effekt på lystgasstap av å redusere gjødsling til under norm

Bedre drenering og redusert jordpakking vil føre til bedre nitrogenutnyttelse og mindre risiko for lystgasstap. Slike tiltak krediteres ikke ved dagens utslippsberegning, men vil i praktisk jordbruk føre til bedre nitrogenutnyttelse og er derfor tatt med i vurderingene.

I de enkelte kapitler er det også gitt opplysninger om forutsetningene for beregningene og omtale av ulike virkemidler. I kapittel 8 er det satt sammen ulike kombinasjoner av tiltak til tiltakspakker. Tiltakene ble satt sammen til ulike tiltakspakker som kunne gi ulike alternativ/nivå for å redusere nitrogen. Ved starten av oppdraget ble det utredet 4 tiltakspakker, men etter vurderinger med oppdragsgiver ble det til slutt utredet to tiltakspakker. Den ene tiltakspakken består av tiltak som vil redusere risikoen for lystgassutslipp uten å føre til redusert avling. I den andre tiltakspakken er det utredet tiltak som reduksjon av nitrogen gjødsling under norm og der det er forventet at tiltaket gir avlingsnedgang. Forutsetningen for det to tiltakspakkene er nærmere beskrevet i kapittel 8. Bioforsk har beregnet effektene på nitrogen av tiltakene. NILF har beregnet kostnadseffektivitet og også vurdert virkemidler for gjennomføring (kapittel 9). men det har ikke vært en grundig utredning av dette tema. Det tas opp vurdering av noen eksisterende virkemidler og behov for nye.

Det er mange usikkerheter knyttet til beregningene, det er også omtalt i de enkelte kapitler. Det gjelder både datagrunnlag, effekter og om kostnader. For flere tiltak har vi ikke opplysninger på gårds eller skiftenivå. Effekt av tiltak vil også avhenge av gjennomføringsgrad og her er muligheter for ulike valg. I de enkelte kapitler og i pakkekapitlet er det gjort noen valg om gjennomføringsgrad og effekter og kostnader er beskrevet. Ved valg av andre vil en få andre reduksjoner og kostnader. Forutsetningene for beregningene er gitt slik at resultatene lett er etterprøvbare. De må også sees i lys av at det var mål om at en skulle oppnå ulike mål for reduksjoner og dette er mulig gjennom ulike kombinasjoner av tiltak. Det er et viktig poeng at det er flere tiltak som er mulige og for den enkelte bonde vil det også i praksis være flere tiltak

og valgmuligheter som er aktuelle. De pakker som er angitt i kapittel 8 viser muligheter for to nivå på reduksjon av nitrogen, men er samtidig med å illustrere prinsippet om at flere tiltak er mulige og at dette kan tilpasses lokalt.

Rapporten gjennomgår muligheter rundt tiltak som kan bedre utnyttelsen av nitrogen og redusere nitrogentap og risikoen for lystgasstap. Det er flere forutsetninger som må oppfylles for at tiltak kan settes i verk og for noen av dem må en også vurdere virkemiddelbruken. Rapporten illustrer også at det er flere målsettinger som landbruket skal oppfylle. De trenger ikke alltid virke i samme retning og kan noen ganger være motstridende. Når en skal vurdere effekter av tiltak for å redusere risikoen for lystgasstap kan det være behov for å avklare forutsetninger og prioritering av ulike målsettinger. Dersom en ville redusere risikoen for tap av lystgass mest mulig ville man basert på dagens beregningsmetoder få stor effekt ved å gjødsle mindre (lystgass beregnes som 1, 25 % av tilført mengde N). Dersom en samtidig skal produsere en viss matmengde er en avhengig av et visst avlingsnivå. I utredningen er det utredet redusert gjødsling til et nivå som er beregnet å ville redusere avlingen. Dette er gjort selv om en ut fra andre målsettinger ikke ville anbefalt det. I denne utredningen er det tatt hensyn til at reduksjoner i gjødsling (N-tilførsler) gir effekt på oppnådde tiltak. Et tiltak som bedre drenering vil føre til at gjødsla utnyttes bedre. Ved samme gjødsling vil dette kunne gi bedre nitrogenutnyttelse og høyere avling. Dette vil en ikke få kreditt for ved dagens beregningsmetode dersom det ikke følges opp med redusert nitrogengjødsling. Ved beregningene / valg av metodikk må en her velge hvordan dette skal godtgjøres. En realistisk scenarie vil antagelig være at bonden ved samme gjødsling men ved bedre drenering vil kunne oppnå en større avling for den samme gjødslingsmengden. I forutsetningene for beregningene til KLIMAKUR var det ikke forutsatt at det skulle bli økninger. (Det er forutsatt en dreining fra rødt kjøtt til noe mer hvitt kjøtt og ingen økning i utslipp). Ved en agronomisk vurdering er det faglig rett å anbefale at en skal drenere og hindre jordpakking for å utnytte gjødsla bedre (og få større avling). Med dagens beregningsmetode gir ikke dette kreditt til slipp. Det er derfor beregningsteknisk gjort vurderinger og pakkesammensetninger der en reduserer gjødslingsnivået og oppnår redusert avling. Det er så kompensert ved effekt av drenering og pakking. En må derfor skille mellom det som er riktig ut fra de agronomiske prosesser og det som beregningsteknisk gir kreditt.

Det må understrekes at det er mange usikkerheter rundt tap av lystgass fra jordbruksarealer. I Norge har det ikke vært gjort systematiske helårsmålinger fra ulike produksjoner og distrikt. I mangel av data brukes derfor IPCC forenklede metodikk. Til slutt i rapporten er det gjort en vurdering hva som må til for å kunne ta i bruk bedre beregningsmetoder. Det er gjort en vurdering av forutsetninger og muligheter for å bytte fra Tier 1 metodikk til Tier 2 og Tier 3 metodikk. I kapittel 11 er det også vurdert videre forskningsbehov. Dette er relativt detaljert for lystgassmålinger og en mer summarisk /skjematisk gjennomgang av dyrkingmessige faktorer. Det er også satt i gang i regi av NFR en kunnskapsstatus på forskningsbehov knyttet til "bedre agronomi" for at landbruket skal kunne oppfylle forpliktelse om reduksjoner av klimagasser. Denne utredning forventes klar i mars 2010 og illustrerer at det er et generelt behov for kunnskap om disse tema.

Virkemidler er også beskrevet i de enkelt kapitler med fokus på om de finnes eller om de trengs nye?

Rapporten er lagt opp /strukturert ut fra fokus på agronomiske prinsipper, logisk for tiltak. Først må de dyrkingstekniske forhold være optimale for plantevekst. Så er det kapitlet om gjødsling, til de ulike vekstern pker og eng og tilslutt reduksjon utover normer og det er deretter er det satt sammen til pakker.

Forutsetningene for de enkelt effekt beregninger (detaljer er gitt under hvert kapittel).

4. Optimalisering av dyrkingsforhold

Alle faktorer som bidrar til å optimalisere dyrkingsforholdene og dermed gi bedre plantevekst og utnytting av tilført næring vil føre til mindre risiko for utslipp av lystgass. Det skyldes at alt nitrogen som tapes bidrar til økt risiko for utslipp av lystgass. Tapene øker med økende nitrogenoverskudd. Nitrogenoverskuddet øker med minkende nitrogener effektivitet. Med nitrogener effektivitet menes hvor mye nitrogen som finnes igjen i produkt i forhold til hvor mye nitrogen som er tilført (N i produkt/N tilført).

Viktige faktorer som påvirker dyrkingsforholdene er – jordstruktur og tekstur, vanninnhold, temperatur, surhetsgrad, sjukdommer, skadedyr og ugras.

Jordstruktur, tekstur og vanninnhold påvirker i tillegg denitrifikasjonsaktiviteten direkte ved at andelen luftførende porer er lav i tett, pakket og våt jord, men høyere i jord som er grovkornet, har løs struktur og/eller har lavere vanninnhold.

Denitrifikasjon er den viktigste kilden til N₂O-utslipp fra jorda. Denitrifikasjon er en naturlig prosess som reduserer nitrat (NO₃) og nitritt (NO₂) til nitrogenoksid (NO), lystgass (N₂O) eller molekylært nitrogen (N₂): (NO₃ → NO₂ → NO → N₂O → N₂). Denitrifikasjon kan skje overalt hvor det er tilgjengelig NO, og mangel på oksygen. I tillegg vil reaktivt nitrogen som tapes ut av jordbruksystemet bidra til økt denitrifikasjon andre steder. Eksempler på dette er ammoniakkfordampning fra gjødsel og nitratutvasking fra jord.

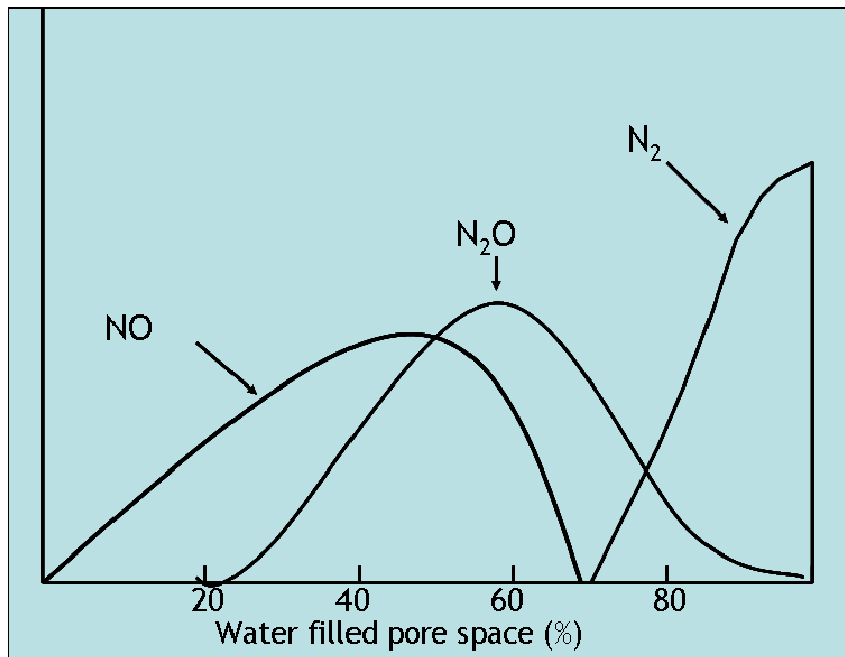
Hvor stor andel av redusert nitrogen som tapes som lystgass og hvor stor andel som reduseres til molekylært nitrogen (N₂) påvirkes også av pH. I surere jord dannes det større andel lystgass.

4.1 Drenering av vassjuk jord

I jord som er dårlig drenert vil ikke planteveksten fullt ut kunne utnytte tilført gjødsel, det gir redusert avling og økt risiko for tap både av lystgass og som avrenning av nitrat. Effekter av drenering på lystgasstap er ikke dokumentert med norske forsøk og det er stor usikkerhet i de vurderinger som her er gjort både av effekter og virkemidler og kostnader for drenering.

4.1.1 Bedring av dreneringsgrad der jorda er vassjuk

Dreneringstilstanden i norsk landbruk er preget av forfall, og aktiviteten i nygrøfting og i reparasjon og fornying av gamle grøftesystem er liten. Det meste av grøftingen i Norge ble utført før 1985, og en god del anlegg er betydelig eldre. Levetiden for grøftesystemer er tidligere anslått til ca. 30 år, men overgang til plastrør har nok forlenget denne. Det må likevel antas at store landbruksarealer i Norge ikke har tilfredsstillende drenering i dag. Dette også sett på bakgrunn av at maskinparken i dag er tyngre, og at kravet til drenering øker for å unngå kjøre- og pakkingskader. Dersom klimaforandringene fører til mildere vintre og mer nedbør som mange modeller spår, vil problemene med dårlig drenering forsterke seg. Bedret drenering på dyrka jord som er dårlig drenert vil føre til mer luftfylte porer, færre pakkingskader, bedre utnytting av tilførte plantenæringsstoff ved bedre og jevnere plantevekst, og dermed bedre utnytting av tilført nitrogen og lavere risiko for utslipp av lystgass både per daa og per kg avling. Dersom drenering kan føre til at jorda i lengre perioder enn i dag holder seg under 40% poremetning, vil direkte lystgassutslipp fra jord bli sterkt redusert (se fig 4.1). Men dette vil ikke krediteres i nåværende utslippsregnskap der det bare er tilført gjødselmengde det beregnes utslipp fra.



Figur 4.1 Sammenheng mellom lystgassutslipp og vannfylte porer

4.1.2 Mulig effekt av bedre drenering

Fordi vi mangler datagrunnlag må vi gjøre mange antakelser. Disse antakelsene er svært usikre og innenfor alle parametre er det store variasjoner. Vi vet ikke hvor mye jord som er dårlig drenert, hvor stor avlingsøkning en kan få som følge av bedret drenering, hvor mye det faktisk gjødsles med i norsk jordbruk, hvor mye lystgass som slippes ut per kg gjødsel tilført og hvilke lystgassutslipp en får på dårlig drenert jord. Med så mange ukjente som det er snakk om her vil det totalt bli en usikkerhet på flere hundre prosent. Men våre anslag er forholdsvis konservative, og effektene kan være betraktelig høyere enn det som foreslås her. Grøfting er en engangskostnad som vil ha virkning for mange år framover. Det er vanlig å regne en avskrivningstid på 30 år for grøftekostnader. Etter noen år begynner tiltakets virkning å gå ned, men tiltaket vil ha delvis virkning mye lengre enn avskrivningstiden. I dette regnestykket setter vi for enkelhets skyld tiltakets varighet med full virkning lik avskrivningstiden på 30 år, og ingenting etter 30 år.

Når det gjelder tilført gjødsel og kostnader har vi delt inn i eng og korn, som er de to store kategoriene når det gjelder arealbruk i landbruket i Norge.

Mengde gjødsel brukt per daa fulldyrket eng er estimert ut i fra NILF sine dekningsbidragskalkyler for grovførdistrikt¹⁾. Vi antar en gjennomsnittlig gjødsling med 2,5 tonn bløtgjødsel (9,5 kg total N derav ca 4,5 kg mineral-N) og 15 kg N i kunstgjødsel. Fordi IPCC regner den totale mengden N som er tilført og ikke mengde reaktivt N blir det rett å regne med hele N-mengden i husdyrgjødsel ved beregning av lystgassutslipp. Det blir 24,5 kg totalnitrogen (det tilsvarer 19 kg N ved vanlig beregningsmåte for husdyrgjødsel (1,5 kg min-N)). (Dersom en i stedet hadde lagt Bioforsk sine gjødslingsnormer til grunn vil den totale N-mengden brukt være i størrelsesorden 6 kg N lavere per daa.)

For korn antar vi en gjennomsnittlig gjødsling på 12,2 kg N per daa. Vi antar at det på godt drenert jord i snitt er et lystgasstap som tilsvarer IPCC sine normer på 1,25 % av tilført N og i dårlig drenert jord et lystgasstap på 3 % av tilført nitrogen.

Vi antar at avlingen synker med 15 % som følge av dårlig drenering. Vi antar at 5 % av all fulldyrket jordbruksjord i Norge, har så dårlig dreneringstilstand at det jevnlig blir stående vann i matjordlaget. Det tilsvarer 0,15 millioner daa med korn (3,1 millioner daa *5 %) og 0,25 million daa med eng (4,9 millioner daa *5 %). Totalt eng og kornareal fra SSB (<http://www.ssb.no/jordbruksareal/tab-2008-11-26-01.html>).

Et estimat på sparte lystgassutslipp på grunn av bedret drenering ved dagens gjødslingspraksis tilsvarer dermed for korn og eng:

0,15 millioner dekar korn x 12,2 kg N/ daa x 1,75 % = 32.000 kg N₂O-N = 15,6 tusen tonn CO₂-ekvivalenter. Dette tilsvarer 0,35 CO₂ ekvivalenter per kg korn i jord med bedret drenering.
0,25 millioner dekar fulldyrka eng x 24,5 kg N/ daa x 1,75 % = 107.200 kg N₂O-N = 52.000 tonn CO₂-ekvivalenter. Dette tilsvarer 0,5 CO₂ ekvivalenter per kg grastørrstoff i jord med bedret drenering.

Dette tiltaket vil en ikke få kreditt for ved dagens beregningsmetode som er basert på utslipp som en prosentsats av tilført gjødsling. Ved samme gjødsling vil bedre drenering føre til bedre nitrogenutnyttelse, større avling og dermed mindre risiko for tap av nitrogen. Fra et agronomisk synspunkt bør tiltak som kan bedre jordstruktur og mulighetene for å utnytte næringsstoffer mer optimalt prioriteres (bedre drenering og unngå jordpakking). Til beregning av effekter er det to valg. I praksis vil antagelig bedre drenering føre til at bonden med den samme gjødslingen oppnår høyere avling og reduserer risikoen for utslipp, men det gir ikke utslag på det teoretiske utslippsregnskapet. Dersom bedre drenering ville føre til redusert nitrogen gjødsling så ville den sparte nitrogenmengden gi grunnlag for beregning av teoretisk reduserte utslipp. I denne rapporten er det fokus på at drenering er viktig for muligheten til å utnytte nitrogen optimalt. Samtidig er det i beregningene i kapittel 8 brukt forutsetningene om at bedre drenering vil gi økt nitrogenutnyttelse og økt avling, men ingen endring i nitrogenutslipp (da gjødslingsnivået ikke endres). Samtidig kan et slikt tiltak motvirke andre tiltak. Dersom en reduserer gjødsling til under norm vil det både gi mindre avling og redusere de beregnete utslippene (basert på redusert gjødsling). Dette vil i beregningene kunne motvirkes ved effekten av bedre drenering.

4.1.3 Virkemidler for å bedre drenering av jord

1) Kartlegging av andel dårlig drenert jord i Norge

For å kunne lage estimat av effekt av drenering på lystgassutslipp, og behovet for og kostnadene ved ny drenering trengs bedre data på hvor stort omfanget av vassjuk jord er i Norge. En har gode historiske data for den grøfte- og nydyrkingsaktivitet som er gjort tidligere, (da det var tilskudd), men få data om dagens aktivitet og dreneringsanleggenes funksjon i dag. De estimatene som her er gjort er dermed beheftet med stor usikkerhet. Definisjonen av dårlig dreneringstilstand vil også være forskjellig i forhold til vekst, dyrkingssystem, maskinpark og fare for lystgassutslipp. En mangler en samlende definisjon av hva som er dårlig drenert, og før en kartlegging kan foretas må en finne en passende definisjon på dårlig drenert jord og metodikk for kartlegge omfanget.

Det er foreslått å ta med registrering av dårlig dreneringstilstand i neste landbrukstelling, og en vil da kunne få tall på hvor mye jord gardbrukeren selv definerer som utilfredsstillende drenert. Som oftest vil dette være areal der en har driftsmessige problemer ved våronn eller innhøsting. I våte år blir mye av dette arealet heller ikke gjødslet, fordi det midlertidig tas ut av drift.

Omtrent 60 % av den dyrka jorda i Norge er avhengig av kunstig drenering. Et grovt estimat på dårlig drenert jord i forhold til dreneringsavhengighet og grøftesystemenes alder skulle tilsi at minst 5 % av den dyrka jorda i Norge er dårlig drenert, slik at en har større driftsulemper og markert avlingsnedgang. En større andel, ca. 20 %, ville oppnådd bedret avling ved forbedret grøfting. På all denne jorda er det potensial for redusert lystgassutslipp, særlig på den dårligst drenerte jorda.

En god del jord er gått helt ut av drift på grunn av dreneringsproblemer av forskjellig art. Dette arealet er ikke tatt med her, vi regner bare med arealer som er i drift i dag. Mye av det tidligere dyrka arealet som er varig ute av drift er myrjord, og en vil få økt utslipp av klimagasser dersom dette myrarealet settes i stand igjen ved nygrøfting. Ut fra et klimasynspunkt vil det ikke være ønskelig at disse myrrealene nygrøftes.

4.1.4 Kostnader med dreneringstiltak

Det legges til grunn at det er arealene som for det enkelte foretak økonomisk sett er gunstigst å grøfte, som er mest aktuelle å grøfte. Dette vil ikke nødvendigvis være de arealene som har størst risiko for utslipp. Det er ikke kjent hvor store areal som grøftes årlig, men aktiviteten har gått mye ned i forhold til i 1970- og 1980-årene da det var tilskudd til grøfting. Forklaringa på dette er trolig at grøfting jamt over ikke anses for å være lønnsomt. Det kan herske så stor usikkerhet om rammebetingelsene for jordbruket i årene framover at det ikke er tilfredsstillende sikkerhet for at investering i grøfting vil være lønnsom. Kostnadene ved grøfting er betydelige og det vil ta lang tid før investeringen eventuelt gir forrentning. Lang avskrivningstid og lang inntjeningstid fører med seg stor usikkerhet om hvordan rammebetingelsene utvikler seg. Et annet forhold som kan forklare at det i begrenset grad investeres i grøfting, er at det ikke lenger er like lønnsomt å investere i tiltak for å øke avlinga da produksjonsinntektene er dreid over fra kornpris til areal- og kulturlandskapstilskudd.

Det er naturligvis best økonomi i grøfting av areal med låge investeringskostnadene og høy verdi på den meravlinga en kan oppnå etter grøfting. Kostnadene ved grøfting er minst ved bruk av Rådahl grøftemaskin (Rådahlshjul). Denne grøftemetoden egner seg godt på mineraljord uten stein, men egner seg dårlig på bæresvak mark (for eksempel myr). På areal med stein og på bæresvak mark vil skuffegraver være best egnet, og denne metoden er dyrere enn Rådahl grøftemaskin.

Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) undersøkte i 2004 kostnadene ved konkrete grøftingsprosjekt på 13 gårdsbruk fordelt over hele landet (Stornes 2004). Investeringskostnadene varierte mellom kr 1233 - 8532 per dekar, med et gjennomsnitt på kr 2334. Undersøkelsen fra NILF (Stornes 2004) var gjort på grunnlag av prosjekt utført i en periode da det ble gitt tilskudd til grøfting, og en må anta at dette hadde betydning for at prosjektene ble realisert. De oppgitte grøftekostnadene var fra perioden 1999-2001, og kostnadene antas å være høyere i dag.

På grunnlag av erfaringstall innhentet fra Vestfold, Nord-Trøndelag og Hordaland kan en antyde at kostnadene ved grøfting ligger i området 2500 – 4000 kr per dekar. Disse kostnadene gjelder for systematisk grøfting med 7-10 meter grøfteavstand under lette forhold og ved bruk av Rådahl grøftemaskin. Ved bruk av skuffegraver, mindre grøfteavstand, steinholdig jord og øvrige vanskelige forhold øker kostnadene til 5000 – 10 000 kr dekar. Kostnaden vil variere mye ut fra grøfteavstand, steininhold, type grøftemaskin/gravemaskin, arrondering m.m.

Det legges til grunn at 5 % av jordbruksarealet er dårlig drenert og er nødvendig å grøfte. Det anslås videre at det er aktuelt å grøfte 40 % av disse arealene. Hvis en går ut fra at dette er de

arealene som best kan forsvare investering i grøfting, må en anta at kostnaden skal ligge i nedre del av de grøftekostnadene som er nevnt ovenfor. Det antas derfor en grøftekostnad på kr 3300 per dekar. Med 30 års avskrivningstid og 4 % kalkulasjonsrente, gir dette en årlig kostnad på kr 176 per dekar. Det er ved beregning av årlige kostnader brukt forenklet annuitetsmetode, noe som anses for å være nøyaktig nok i denne sammenhengen. Økning i inntektene som følge av grøfting er det vanskelig å anslå da det finnes få registreringer av avlingseffekten etter grøfting. Det er lagt til grunn 15 % avlingsøkning som med en kornavling på 380 kg per dekar tilsvarer 57 kg økt kornavling. Med kr 1,50 per kg (veid middel av verdensmarkedspris på matkorn og førkorn) blir verdien av økt avling kr 86 per dekar (Statens landbruksforvaltning 2009). Videre er det anslått sparte kostnader på kr 10 per dekar per år for lettere driftsforhold. Netto årlig kostnad blir etter dette kr 80 per år ($176 - 86 - 10 = 80$).

De tilsvarende bedriftsøkonomiske beregningene viser at kr 60 per år i netto årlig kostnad ($176 - 106 - 10 = 60$). Differansen skyldes at det er brukt innenlands kornpris (kr 1,85 per kg). Beregningene viser at det ikke er lønnsomt å grøfte med de forutsetningene som er brukt, noe som kan forklare det lave omfanget av grøfting. Når enkelte brukere finner det lønnsomt å grøfte skyldes dette at de enten kan grøfte billigere og/eller har større verdi på den økte avlinga enn det som er forutsatt i våre beregninger.

Det er grunn til å anta at dreneringstilstanden på leid jord er dårligere enn på jord som eies av brukeren selv. Leiejordandelen i Norge ligger på rundt 40 %, og kortsiktige leieforhold er utbredt. Jordleieavtaler som inngås etter 01.07.2009 skal ha en varighet på minst 10 år, noe som medvirke til at avtalene får lengre varighet. Investering i grøfting på leid jord kan i prinsippet foretas på grunnlag av langsiktig leiekontrakt eller ved at eier og bruker deler investeringskostnaden mellom seg. Det brukeren investerer kan også avspeiles i den leieprisen som partene avtaler. For leid jord må avskrivningstida for brukeren settes til den perioden en har sikkerhet for å leie jorda, for eksempel gjennom avtale. Med dagens rammebetingelser er det grunn til å anta at det i liten grad vil bli investert i grøfting på leid jord.

Tilskudd og lån vil kunne bidra til at det blir mer lønnsomt å grøfte. Fra 2010 blir det åpnet for å legge grøfting inn i formålet for låneordningen med rentestøtte. Dette vil gjelde hele landet, men det er opp til hvert enkelt fylke om de vil prioritere dette formålet framfor for eksempel driftsbygninger. I dag er det bare i Nord-Norge at det er anledning til å gi støtte til grøfting, men det er bare Troms og Finnmark som har prioritert rentestøtte til grøfting. Ut fra dagens etterspørsel etter, og tilgang på bygdeutviklingsmidler, vil neppe dagens tilskudd til grøfting få noen reell betydning for økonomien ved grøfting. Med de eksisterende og vedtatte økonomiske virkemidler, har vi vurdert det slik at det ikke er grunnlag for å ta med disse ved beregning av bedriftsøkonomiske kostnader ved grøfting.

Det er behov for å undersøke grøftetilstanden for jordbruksarealene. Et prosjekt der en definerer grøftetilstand ut fra ulike kriterier, kartlegger grøftetilstand i utvalgte prøvekommuner, utvikler en metodikk og sjekker grøfta jord med forskjellig alder i felt, antas å ha en kostnad på i størrelsesorden kr 400 000. Utarbeidelse av informasjonsmateriell og gjennomføring av kampanjen er anslått til en kostnad på kr 1,2 mill.

En kartlegging av grøftetilstand og informasjonskampanje er anslått til en samlet kostnad på kr 1,6 mill. Slike kostnadene fordeles over noen år som en investering som antas å ha effekt i en viss periode både når det gjelder bevisstgjøring blant gardbrukerne og når det gjelder realisering av grøfteprosjekter. Dersom kostnadene fordeles over 10 år blir de årlige kostnader blir rundt 200 000 kroner.

Kostnader til administrasjon av virkemidler rettet mot drenering er vanskelig å anslå. Det mest nærliggende er at dette administreres som dagens bygdeutviklingsmidler og kan inngå som en del av disse. Kostnadene ved søknadsbehandling, utbetaling og kontroll vil sannsynligvis ikke utgjøre vesentlige beløp.

I kapittel 8 er det satt sammen flere tiltak til tiltakspakker. For drenering er det lagt til grunn ved beregningene at det gjennomføres grøfting på 40 % av de 5 % av jordbruksarealet som antas å være dårlig drenert. Dette innebærer grøfting av 158 000 dekar. Arealene som ligger til grunn for disse beregningene er 3,1 mill. dekar korn og 4,8 mill. dekar fulldyrka eng. Med en brutto kostnad på 3300 kr per daa vil dette innebære en brutto investeringskostnad på 521 mill. kroner. Årlige kapitalkostnader er beregnet til kr 28 mill. (ved 30 års avskrivningstid og 4 % kalkulasjonsrente). Sparte årlige kostnader på grunn av enklere driftsforhold er beregnet til kr 2 mill. Verdien av økt avling er beregnet til kr 13 mill. Samlet er netto årlige kostnader ved drenering (inkludert administrative kostnader) beregnet til 13 mill. kroner.

Tilsvarende beregninger for bedriftsøkonomiske kostnader viser netto årlig kostnad på kr 10 mill. per år (eksklusive kostnader til kartlegging og kampanje og med en kornpris på kr 1,85 per kg).

Med de forutsetningene som er brukt i beregningene, vil et tilskudd per dekar på 1135 kr gjøre grøfting bedriftsøkonomisk lønnsomt.

4.2 Jordstruktur og jordpakking

4.2.1 Effekt av jordpakking på utslipp av lystgass

Jordpakking kan gi dårligere jordstruktur og dårligere forhold for plantevekst. Det kan virke på forholdet mellom luft og vann i jorda og de fysiske muligheter for rotutvikling, muligheter for å utnytte tilført gjødsel. Skadelig jordpakking som reduseres utnyttelsen av nitrogen øker også risikoen for lystgassutslipp både ved at det reduserer avlingene og ved at det øker denitrifikasjonsaktiviteten. Effekter av jordpakking varierer svært mye med jordforhold og klima. Mest utsatt er dårlig drenert jord og/eller jord med dårlig utviklet jordstruktur, lavt moldinnhold eller myrjord i regnrikt klima. Selv om ei jord i utgangspunktet er selvdrenerende, kan jordpakking gjøre at det blir stående vann i matjordlaget og at overvintring av eng og korn blir dårligere.

Det er gjort svært få målinger av effekt av jordpakking på lystgassutslipp. Først på 90-tallet ble det gjort noen registreringer i ei elveslette med siltig finsand i Surnadal på Nordmøre. Pakkingen tilsvarer traktorkjøring med normal jordbruksdrift, mens det i upakkede ledd ikke ble kjørt. Klimaet her er nedbørrikt med ca 1400 mm nedbør i året. Som vist i tabellene 4.2 og 4.3 og figur 4.2 er effektene av jordpakking på lystgassutslipp svært store. På grunn av kombinasjon med pakkingsutsatt jordtype og mye nedbør i Surnadal, kan en regne med at pakkingseffektene av traktorkjøring er større enn en kan forvente i områder med tørrere klima og mindre pakkingsutsatt jord. På den annen side er traktorene større i dag og det er mer dårlig drenert jord enn først på 90-tallet.

Tabell 4.2. Effekt av jordpakking på akkumulert N₂O emisjon (kg N ha⁻¹ ± standardfeil) etter gjødsling i det 7. og 9. året i et langvarig gjødslingsforsøk*

År	7	9	9
Tid	Forsommer	Forsommer	Sensommer

Upakket

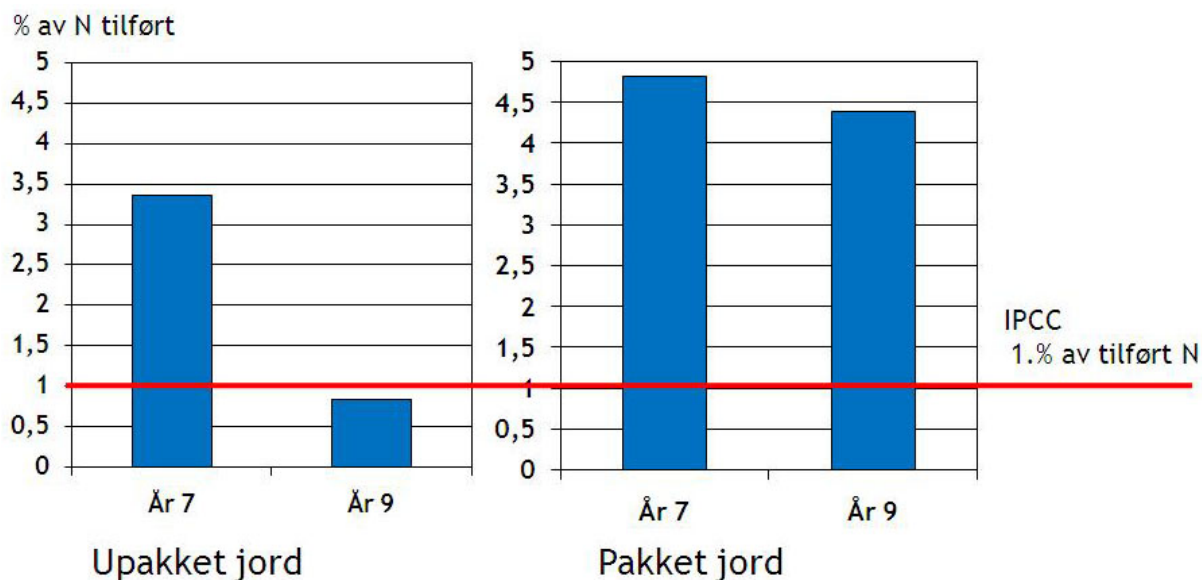
NPK	5,3 ± 1,6	0,9 ± 0,09	1,0 ± 0,28
HGH	3,6 ± 0,4	0,4 ± 0,01	0,8 ± 0,66
HGL	2,5 ± 0,4	0,9 ± 0,68	0,4 ± 0,3
Ugjødslet	0,6 ± 0,1	0,3 ± 0,08	0,1 ± 0,05

Pakket

NPK	7,4 ± 1,1	3,4 ± 1,7	2,1 ± 0,85
HGH	2,7 ± 0,4	1,0 ± 0,6	0,3 ± 0,01
HGL	2,2 ± 0,4	1,1 ± 0,5	0,5 ± 0,2
Ugjødslet	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,1 ± 0,03

* Gjødseleddene er NPK-Fullgjødsel® med NH₄NO₃, HGH-husdyrgjødsel høy, HGL=husdyrgjødsel lav. Mengdene total N gitt i gjødsel per ha var i henholdsvis år 7 og 9: NPK: 140,120, HGH: 190, 128, HGL: 80, 80.

Figur4.2. Tap av N₂O-N tidlig sommer i % av N tilført med NH₄NO₃*



* Det er ikke tatt med eventuelle tap de 11 månedene hvor vi ikke har registrert tap og heller ikke N₂O-utslipp fra annet tap.

Tabell 4.3. N₂O-N per tonn tørrstoff I høstet grønnfôr (år 7) eller eng (år 9) i upakket og pakket jord. Gjødslingsforklaring som i tabell 1.

År	Tonn TS ha ⁻¹		N ₂ O-N tonn TS ⁻¹	
	7	9	7	9
Upakket				
NPK	6.99 ± 0.19	9.70 ± 0.46	0.76	0.20
HGH	6.48 ± 0.42	8.61 ± 0.56	0.56	0.14
HGL	4.84 ± 0.39	6.70 ± 0.09	0.52	0.19
Ugjødslet	3.66 ± 0.24	3.46 ± 0.16	0.16	0.12
Pakket				
NPK	5.12 ± 0.08	8.71 ± 0.13	1.45	0.63

HGH	5.16 ± 0.06	7.88 ± 0.02	0.52	0.16
HGL	3.52 ± 0.64	5.94 ± 0.43	0.63	0.27
Ugjødslet	3.22 ± 0.24	3.92 ± 0.32	0.19	0.20

4.2.2 Tiltak for å bedre jordstruktur og redusere jordpakking

Jordpakking kan forebygges gjennom bevisst planlegging for å unngå jordpakking og kjøring på våt jord. Anlegg av kjøreveier i kanten av jordet og rasjonell kjøring ved de ulike operasjonene reduserer kjøringa på dyrket mark. Med faste kjørespor reduseres kjørearealet, og jordpakkinga konsentreres til bestemte steder på den dyrkede marka. Drenering av dårlig drenert jord vil øke jordas bæreevne og dermed evne til å tåle kjørebeklastning.

Et viktig tiltak for å unngå jordpakking er rett lufttrykk i dekk (Se for eksempel:

<http://www.agropub.no/index.gan?id=6713&subid=0> ,

<http://www.agropub.no/index.gan?id=8257&subid=0>,

<http://www.norsklandbruk.no/traktor-og-teknikk/2009/03/11/reduser-dieselkostnadene-og-unngaa-samtidig-jordpakking.aspx?altTemplate=Utskrift>)

En utfordring i norsk jordbruk er mye leiejord og at det er mange som har jordene spreidd rundt om og det blir dermed mye kjøring etter vei. En måte å justere lufttrykket slik at det tilpasses aktuell kjøring er å ha med transportabel kompressor.

Det er umulig å unngå jordpakking i praktisk landbruk, men vi vet at bevisstgjøring og praktiske tiltak som beskrevet ovenfor kan redusere pakkingskader. Vi vet imidlertid ikke hvor utbredt det er å ta hensyn til dette i praktisk jordbruksdrift. På grunn av avhengighet av å utnytte egne ressurser, er det på de fleste økologiske gårder stor bevissthet på å unngå jordpakking så mye som mulig, men fokus på dette ser ikke ut til å være like sterk innenfor konvensjonelt landbruk. Når det gjelder kostnader for å unngå jordpakking vil det være en glidende skala.

Veiledningstjenesten er helt sentral både for råd når det gjelder gjødslingsplanlegging og optimalisering av dyrkingsforhold. Redusert jordpakking kan tas inn som et tiltak for å bedre utnyttingen av tilført gjødsel og dermed bedre nitrogen effektiviteten og minske N₂O utslipp.

4.2.3 Mulig effekt av tiltak for å redusere jordpakking

Fordi vi mangler datagrunnlag må vi gjøre mange antakelser. Disse antakelsene er svært usikre og innenfor alle parametre er det store variasjoner. Vi vet ikke hvor mye jord i Norge som er så pakket på grunn av kjøring at det øker utslipp av lystgass i vesentlig grad og heller ikke hvor stor avlingsøkning en kan få som følge av økt bevissthet på jordpakking. Det er heller ikke kjent hvor mye det faktisk gjødsles med i norsk jordbruk, hvor mye lystgass som slippes ut per kg gjødsel tilført og hvilke utslag jordpakking gjør på lystgassutslipp på ulike typer jord. Med så mange ukjente som det er snakk om her vil det totalt bli en usikkerhet på flere hundre prosent. Det illustrerer behovet for dokumentasjon slik at en har sikrere grunnlag for anbefalinger utover de generelle anbefalinger om at jordpakking har uheldige konsekvenser. Men våre anslag er forholdsvis konservative, og effektene kan være betraktelig høyere enn det som her er brukt.

Det er svært glidende overganger på hva som er pakket jord. Dess større pakkingskadene er og dess våtere jorda er dess større lystgassutslipp kan en få som en følge av dårlig utnyttelse av gjødsling. En forholdsvis liten del av arealet vil være sterkt pakkingskadd, mens en større del vil være noe pakkingskadd, kanskje så mye som 90 %. Jo høyre anslag vi setter på andel pakket jord, jo mindre vil lystgassutslippet per enhet bli fordi vi da tar med en del som er forholdsvis lite skadd. Både 20 % og 30 % økt lystgassutslipp på grunn av jordpakking vil være antatte anslag, men vi har i dag ikke noe forskningsmessig grunnlag for å korrigere disse tallene. Vi har valgt å

anta lavere lystgassutslipp på åker enn eng som følge av jordpakking, da korn jevnt over dyrkes i områder med mindre nedbør enn der det dyrkes eng.

Vi antar at 20 % av all fulldyrket jordbruksjord i Norge, kan få reduserte pakkingskader ved økt bevissthet om skadelige effekter av traktorkjøring og hva som kan gjøres for å minske disse belastningene. Det tilsvarer 0,9 millioner daa med korn (3,1 millioner daa *20 %) og 1,5 million daa med eng (4,9 millioner daa *20 %). Totalt eng og kornareal fra SSB (<http://www.ssb.no/jordbruksareal/tab-2008-11-26-01.html>). Dersom det gjøres en ytterligere innsats med faste kjørespor, gylleanlegg, bygging av kjøreveier med mer antar vi at vi kan redusere skadelige effekter av jordpakking på 30 % av jorda.

Mengde gjødsel brukt per daa fulldyrket eng er estimert ut i fra NILF sine dekningsbidragskalkyler for grovførdistrikt¹⁾. Vi antar en gjennomsnittlig gjødsling med 2,5 tonn bløtgjødsel (9,5 kg total N derav ca 4,5 kg mineral-N) og 15 kg N i kunstgjødsel. Fordi IPCC regner den totale mengden N som er tilført og ikke mengde reaktivt N blir det rett å regne med hele N-mengden i husdyrgjødsel ved beregning av lystgassutslipp. Det blir 24,5 kg totalnitrogen (det tilsvarer 19 kg N ved vanlig beregningsmåte for husdyrgjødsel (1,5 kg min-N)). Dersom en i stedet legger Bioforsk sine gjødslingsnormer til grunn vil den totale N-mengden brukt være i størrelsesorden 6 kg N lavere per daa.

For korn antar vi en gjennomsnittlig gjødsling på 12,2 kg N per daa. Det er estimert ut i fra jordbrukstellingene i 1999 og søknad om arealtilskudd (Bernt Hoel pers med). Dersom en i stedet legger Bioforsk sine gjødslingsnormer til grunn vil den totale N-mengden brukt være 2,6 kg N lavere per daa.

Vi antar at det på jord som ikke er vesentlig pakkingskadd i snitt er et lystgasstap som tilsvarer IPCC sine 1997 normer på 1,25 % av tilført N og i pakkingskadd jord et lystgasstap på 1,75 % av tilført N i kornjord og 2,25 % i eng.

Vi antar at avlingen synker med 5 % som følge av jordpakking.

Et estimat på sparte lystgassutslipp pga av redusert jordpakking på 20 % av arealet ved dagens gjødslingspraksis tilsvarer dermed for korn og eng:

$0,6 \text{ millioner daa korn} \times 12,2 \text{ kg N/ daa} \times 0,5\% = 18 \text{ tusen tonn CO}_2\text{-ekvivalenter.}$

Dette tilsvarer 0,1 CO₂ ekvivalenter spart per kg korn i jord med redusert jordpakking.

$1,0 \text{ millioner daa fulldyrka eng} \times 24,5 \text{ kg N/ daa} \times 1\% = 117 \text{ tusen tonn CO}_2\text{-ekvivalenter.}$ Dette tilsvarer 0,2 CO₂ ekvivalenter per kg grasørrstoff i jord med redusert jordpakking.

4.2.4 Kostnader med tiltak for å redusere jordpakking

Det foreligger i liten grad kunnskaper om kostnader knyttet til tiltak og virkemidler med sikte på å unngå jordpakking. Det er beregnet kostnader til tiltak lagt til grunn investeringer i informasjonskampanjer og økte investeringer i dekkutrustning. Videre er det lagt inn kostnader i forbindelse med merarbeid som følge av justering av lufttrykk i dekkene og kostnader med å vente med kjøring til jorda er laglig. Det optimale høstetidspunktet ut fra avlingskvalitet vil måtte fravikes hvis en skal legge mer vekt på hensynet til jordpakking.

Det er lagt til grunn at dekkutrustning for å unngå jordpakking har en merkostnad på 15 000 kroner per traktor. Det er lagt til grunn at 40 000 traktorer utrustes med slike dekk, noe som innebærer en investering på 600 mill. kroner. Med en avskrivningstid på 8 år gir dette en årlig kostnad på 87 mill. kroner. 40 000 traktorer tilsvarer rundt en tredjedel av traktorene som er i bruk og tilsvarer i gjennomsnitt bortimot en traktor per foretak som mottar produksjonstilskudd.

Informasjonskampanjer (for eksempel i regi av Norsk landbruksrådgivning) er beregnet til en kostnad på 1,5 mill. kroner. Forutsatt en effekt på tre år og at tiltaket gjentas hvert 3. år, gir dette en årlig kostnad på 530 000 kroner.

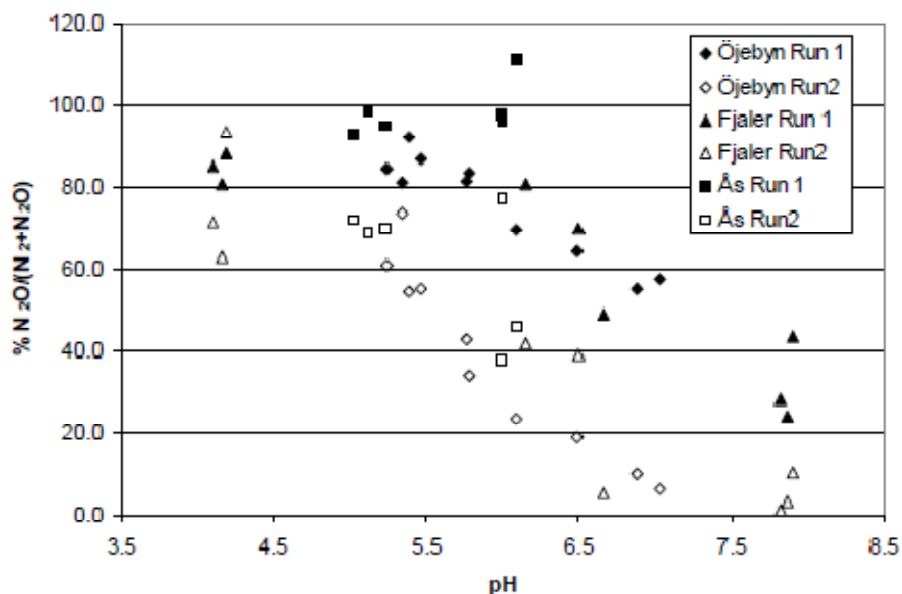
Det er stort behov for forskning og utredning innenfor kjøreskader og jordpakking og virkningene på avlingsmengde og lystgassutslipp. Det er anslått at det årlig brukes til kr 2,5 mill. til FOU innenfor disse områdene.

Årlige driftskostnader satt til hhv. 2 og 4 mill. kroner for korn og eng. Dette omfatter først og fremst økt tidsbruk knyttet til justering av lufttrykk i dekk, men omfatter også at det tas hensyn til jordpakking ved kjøring på jorda. Med 150 kr per time og 46 000 foretak innebærer dette at det brukes knapt en time per foretak til disse tiltakene.

Det er forutsatt at tiltak mot jordpakking gir 5 % avlingsøkning, noe som er beregnet til henholdsvis 118 og 148 mill. kroner i økt avlingsverdi for korn og gras. En forutsetning for at denne verdien kan realiseres er at økt korn- og grovfôravling ikke medfører overskudd av avling, men kan nyttiggjøres til vanlig verdi, og at dette fører til tilsvarende mindre behov for import av kraftfôrråvarer. Det er noe usikkerhet om denne forutsetningen da ytelsen i melkeproduksjon har økt betydelig noe som medfører økt behov for proteinrikt kraftfôr.

4.3 Bedring av kalktilstanden

Sur jord fører til dårligere avling og større andel av nitrogen tapes som N₂O i stedet for å reduseres helt til N₂ ved denitrifikasjon. Dette skyldes at reduksjon fra N₂O til N₂ hemmes i sur jord. Denne effekten ser ut til å være lineær.



Figur 4.3. Effekt av pH på andel av denitrifisert N som slippes ut som N₂O (Mørkved 2006)

Registrering av pH i jorddatabanken (<http://128.39.191.10/jorddatabank/jorddatabank.php>) viser at snittet i norsk landbruk ligger rundt 6 i de beste jordbruksdistriktene. Det er imidlertid svært store variasjoner. Der jorda er sur, vil det være mye å hente på kalking.

Vi vet for lite til å anbefale en generell pH-heving i norsk landbruksjord der kalktilstanden fra før er god (> 6) da kalking også øker denitrifikasjonsaktiviteten og pH kan ha en del andre uheldige konsekvenser som redusert opptak av mikronæringsstoff. Det trengs mer utredning og forskning for å avklare dette nærmere.

4.3.1 Virkemiddel for bedre kalktilstand

1. Utredning og mer forskning for å avklare om effekt av økt/mer presis kalking under norske landbruksforhold
2. Kartlegging av andel sur jord i Norge
3. Kampanje for kalking der det trengs gjennom veiledningstjenesten

5. Husdyrgjødselhåndtering

Statistisk Sentralbyrå gjennomførte en utvalgsundersøkelse om lagring og bruk av husdyrgjødsel i 2000. Alle driftsenheter med et visst husdyrhold som søkte driftstilskudd ble inkludert i utvalgsgrunnlaget (Gundersen og Rognstad 2001). I alt 60 % av 6.000 enheter svarte på spørsmål i undersøkelsen. Resultatene gir informasjon om produksjon av husdyrgjødsel, type lager, mengder brukt på åker og eng og om hvilken type spredeutstyr som ble brukt i år 2000. I dette kapitlet drøfter en noen tiltak som kan bidra til å forbedre utnyttelsen av næringsstoffene i husdyrgjødsel, med særlig vekt på nitrogen. Det er satt opp regneeksempel for å illustrere virkningene av ulike tiltak knyttet til spredning av husdyrgjødsel. I alle regneeksemplene har en inkludert verdien av sparte mengder nitrogen i mineralgjødsel. Prisen per kg gjødsel er satt til kr 2,48 (Fullgjødsel 22-2-12). Det tilsvarer kr 11,27 per kg nitrogen. Prisen på mineralgjødsel har svingt mye de siste årene og var i juni 2009 oppe i kr 20,90 per kg nitrogen (Fullgjødsel 22-2-12). For salgssesongen 2009-2010 er prisen på denne gjødseltypen kr 13,41 per kg nitrogen, eksklusiv termertillegg. Det er ved beregning av samfunnsøkonomiske kostnader lagt til grunn at det ikke er forskjeller mellom verdensmarkedspriser og norske priser på gjødsel. På oppdrag fra Statens landbruksforvaltning arbeider NILF og Østlandsforskning med en undersøkelse av de nordiske gjødselmarkedene, blant annet spørsmålet om det er differanser mellom verdensmarkedspris og innenlands priser på mineralgjødsel.

For manuelt arbeid er det satt en kostnad på kr 150 per time. Kalkulasjonsrenten er satt til 4 % slik det er forutsatt i arbeidet med Klimakur 2020. Ut fra Statistisk sentralbyrå sine konjunkturtendenser med prognoser fram til 2012, kan det være grunn til å anta at kalkulasjonsrenten vil bli noe lavere enn 4 %. En har imidlertid valgt å bruke 4 % kalkulasjonsrente ved beregning av bedriftsøkonomiske kostnader. Avskrivningstiden for investeringer er angitt i hvert enkelt tilfelle. Det er ikke regnet med restverdi på investeringer. Det er brukt forenklet annuitetsmetode slik at renter er beregnet på grunnlag av halvt nedskrevet investeringsbeløp. Dette anses for å være tilstrekkelig nøyaktig i denne sammenhengen, og metoden er også den som ble brukt av Stornes (2008) og i SFTs rapport 99:10.

Det er foretatt beregninger av samfunnsøkonomiske virkninger av tiltakene. Grunnlaget er beregninger av bedriftsøkonomiske virkninger, som er korrigert for å beregne de samfunnsøkonomiske kostnadene. Det er beregnet årlige merkostnader, summen av annuitet for investeringene og årlige driftskostnader, korrigert for endring i årlige driftsinntekter.

Beregningene er foretatt med de samme modellene som Stornes (2008) brukte. Beregning av kostnadene på enkeltbruk foretatt på grunnlag av hva det koster å investere i utstyr for stripespredning og nedfelling. Det er laget modellbruk med bruk av ulik teknologi for å beregne virkningene av ulike tiltak knyttet til spredning av husdyrgjødsel. Mer miljøvennlig spredning vil medføre bedre utnytting av nitrogenet og dermed mindre behov for nitrogen i form av mineralgjødsel.

Det er brukt samme vedlikeholdskostnader som i SFTs Rapport 99:10, korrigert for prisstigning. Videre er det hentet tekniske og økonomiske data fra "Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL)". Data og metodikk er vist i vedlegg til rapporten. Det er lagt til grunn at overgang til ny spredeteknikk ikke medfører vesentlige endringer i avskrivninger på traktorer.

En har ikke tatt med tiltak for å redusere tap av nitrogen i lager.

5.1 Bruk av miljøvennlig spredeutstyr for husdyrgjødsel

Utvalgsundersøkelsen fra 2000 (Gundersen og Rognstad 2001) viste at det ble brukt breispreder eller kanonspreder på 93 % av eng- og beitearealet som ble tilført husdyrgjødsel. På resten av arealet ble gjødsla tilført med stripespreder eller nedfeller. Det finnes ingen opplysninger om fordelingen mellom breispreder og kanonspreder, og mellom stripespreder og nedfeller. I åpen åker ble 95 % av arealet gjødsla med breispreder. I 2000 ble det spredd i middel 4,25 m³ husdyrgjødsel på 2,56 mill. dekar eng (2,8 m³/daa om våren på 2,23 mill. daa, 2,4 m³/daa om sommeren på 1,65 mill. daa og 2,3 m³/daa på 0,26 mill. daa om høsten) (Gundersen og Rognstad 2001).

Morken (2007) har referert tall for potensielt tap av ammoniakk ved bruk av ulike spredemetoder for husdyrgjødsel. Stornes (2008) har brukt disse estimatene til å beregne kostnadene på enkeltbruk ved å investere i utstyr for stripespredning og nedfelling.

Forutsetninger for regneeksempel:

Av i alt 2,56 millioner dekar eng og beite ble det i 2000 brukt stripespreder eller nedfeller på 180 000 dekar (7 %) (Gundersen og Rognstad 2001). En forutsetter at tre bruk går sammen om hver ny stripespreder og at fem bruk kjøper en ny nedfeller i sammen. En har valgt samme forutsetninger for bruksstørrelse og spredeareal som Stornes (2008). Et kubruk har 30 kyr og 45 ungdyr og et spredeareal på 260 dekar. Tilsvarende har et bruk med gris 40 purker, 800 slaktegris og et spredeareal på 252 dekar. Det innebærer at hver ny stripespreder blir brukt på ca. 780 dekar og at nedfellingsutstyret blir brukt på 1 290 dekar. I eksempelet med 200 000 dekar nytt areal med stripespredning og nedfelling er arealet fordelt på 650 bruk med melkeproduksjon og 150 grisebruk. Tilsvarende tall for økt areal på 1, 1 mill dekar er 3 575 melkebruk og 825 grisebruk.

Total investering for stripespreder med slangetilførsel er satt til kr 320 000, med følgende delkostnader: Stripespreder kr 90.000, gjødselpumpe kr 40.000, slanger med koblinger kr 120.000, to slangetromler kr 50.000 og ekstrautstyr traktor kr 20.000. For nedfellingsutstyr er totalinvesteringen på kr 845.000, med følgende delkostnader: DGI-nedfeller kr 320.000, gjødselpumpe kr 45.000, gjødselvogn kr 180.000 og ekstrainvestering stor traktor kr 300.000. For breispredning er kostnadene kr 120.000 for tankvogn og kr 35.000 for gjødselpumpe. Det er regnet med avskrivningstid på 15 år, og et rentenivå på 4 %. Innholdet av mineralisk nitrogen (ammonium-N) er satt til 2,3 kg per tonn i storfegjødsel og 4,2 kg i grisejødsel (8 % tørrstoff). En kubikkmeter er vurdert til å være lik ett tonn. Mengde husdyrgjødsel er totalt 4,25 m³ eller tonn per dekar. Gjennomsnittlig tap av ammonium-N er satt til 60 % for breispreder, 30 % for stripespreder og 20 % for nedfeller.

a. Bruk av stripespreder øker fra 7 % til 15 % av engarealet som blir tilført husdyrgjødsel

Stripespreder setter større krav til arrondering, helning og lignende forhold enn breispreder og kanonspreder. En økning fra 7 % til 15 % vil tilsvare 200 000 dekar, og dette vil være realistisk ut i fra hensyn til egnede arealer. Det vil kreve ca 250 nye enheter (stripespreder) som hver benyttes på 780 dekar (tre bruk). Kostnadene er satt opp i Tabell 5.1. Økt kostnad ved å utvide bruken av stripespreder med 200 000 dekar er beregnet til 6 mill. kroner per år. Tapet av ammonium-N blir redusert i forhold til bruk av breispreder, og i alt kan en erstatte 328 tonn nitrogen i mineralgjødsel. Det tilsvarer 8,7 tonn lystgass og 2 700 tonn CO₂-ekvivalenter. Verdien av spart mineralgjødsel vil være 3,8 mill. kroner.

Tabell 5.1. Kostnader med og virkninger av å utvide bruken av stripespreder på 200 000 nye dekar (a) eller på 1 100 000 nye dekar (b).

	a. Stripespreder 200 000 nye daa			b. Stripespreder 1 100 000 nye daa		
	Stripe-spredning	Brei-spredning	Differanse	Stripe-spredning	Brei-spredning	Differanse
Avskrivning utstyr, mill. kr	5,7	2,8	2,9	31,3	15,2	16,1
Vedlikehold utstyr, mill. kr	4,6	1,1	3,5	25,2	6,3	18,9
Vedlikehold traktor, mill. kr	1,2	1,5	-0,3	6,4	8,0	-1,6
Drivstoff, mill. kr	1,0	1,3	-0,3	5,7	7,2	-1,5
Manuelt arbeid, mill. kr	3,4	4,1	-0,7	19,0	22,7	-3,7
Rentekrav utstyr, mill. kr	1,7	0,8	0,9	9,4	4,5	4,9
SUM, kr	17,6	11,6	6,0	96,9	63,9	33,0
Tilgjengelig min.-N, tonn	766	438	328	4214	2 408	1 806
Mengde Fullgjødning, tonn			1 520			8 361
Sparte kostnader til mineralgjødning, mill. kr			3,8			20,7
Lystgass, tonn			8,7			48,3
CO ₂ -ekvivalenter, tonn			2 700			14 500

b. Bruk av stripespreder øker fra 7 % til 50 % av engarealet som blir tilført husdyrgjødsel

En økning fra 7 % til 50 % vil tilsvare 1,1 million dekar, og dette vil trolig være realistisk ut i fra hensyn til egnede arealer. Det vil kreve 1 400 nye enheter, og årlig differansekostnad vil være 33 mill. kroner (Tabell 5.1). En kan erstatte 1 806 tonn nitrogen i mineralgjødning. Det tilsvarer 48,3 tonn lystgass og 14 500 tonn CO₂. Verdien av spart mineralgjødning vil være 20,7 mill. kroner.

Bruk av stripespreder er mest aktuelt på areal med god arrondering (størrelse, utforming, helling m.m.). Utviklinga mot større bruk og flere samdrifter medfører at transporten av husdyrgjødsel øker. På areal med mindre god arrondering og som ligger langt fra gjødsellageret, vil bruk av stripespreder være mindre aktuelt da det vil medføre økte kostnader. Bruk av stripespreder krever innblanding av vann. Dette vil kreve økt transport eller at det legges til rette for vanninnblanding mellom transport og spredning ved bruk av ekstra gjødselvogn eller container. Inntil et visst omfang kan en legge til grunn at kostnadene per dekar er noenlunde konstante, men ved lengre transportavstand og større andel dårlig arronderede areal, vil det bli økte kostnader per dekar. Det er lagt til grunn at dette først skjer ved større omfang enn 50 % av engarealet.

c. Bruk av nedfeller øker fra 7 % til 15 % av engarealet som blir tilført husdyrgjødsel

Nedfeller setter også større krav til arrondering og helning som stripespredere. I tillegg må jorda ikke ha mye stein. Vi har ikke vurdert de konkrete mulighetene i de ulike distrikter, men det vil antagelig være regionale og lokale variasjoner som bør undersøkes nærmere. En økning fra 7 % til 15 % vil tilsvare 200 000 dekar, og dette vil være realistisk ut i fra hensyn til egnede arealer. Det vil kreve 155 nye enheter, og kostnadene fordelt på 15 år vil totalt være 16,1 millioner kroner (Tabell 5.2). Om lag 438 tonn nitrogen i mineralgjødning kan erstattes. Det vil innebære et mindre klimagasstap på 11,7 tonn lystgass og 3 600 tonn CO₂-ekvivalenter. Verdien av spart mineralgjødning er utregnet til 6,3 mill. kroner.

Tabell 5.2. Kostnader med og virkninger av å utvide bruken av nedfeller på 200 000 nye dekar (a) eller på 1 100 000 nye dekar (b).

	c. Nedfeller på 200 000 nye daa			d. Nedfeller på 1 100 000 nye daa		
	Ned-felling	Brei-spredning	Differanse	Ned-felling	Brei-spredning	Differanse
Avskrivning utstyr, mill. kr	9,0	2,8	6,2	49,6	15,2	34,4
Vedlikehold utstyr, mill. kr	3,4	1,1	2,3	18,9	6,3	12,6

Vedlikehold traktor, mill. kr	1,8	1,5	0,3	9,5	8,0	1,5
Drivstoff, mill. kr	2,6	1,3	1,3	14,2	7,2	7,0
Manuelt arbeid, mill. kr	8,2	4,1	4,1	45,5	22,7	22,8
Rentekrav utstyr, mill. kr	2,7	0,8	1,9	14,9	4,6	10,3
SUM, kr	27,7	11,6	16,1	152,6	64,0	88,6
Tilgjengelig min.-N, tonn	876	438	438	4 816	2 408	2 408
Mengde Fullgjødning, tonn			2 026			11 148
Sparte kostnader til mineralgjødning, mill. kr			6,3			34,5
Lystgass, tonn			11,7			64,4
CO ₂ -ekvivalenter, tonn			3 600			20 000

d. Bruk av nedfeller øker fra 7 % til 50 % av engarealet som blir tilført husdyrgjødsel

En økning fra 7 % til 50 % vil tilsvare 1,1 million dekar, og dette vil trolig ikke være realistisk ut i fra hensyn til egnede arealer. Det vil kreve ca 850 nye enheter, og differansekostnadene vil årlig være 88,6 millioner kroner (Tabell 5.2). Tapet av ammonium-N blir redusert med 2 408 tonn i forhold til bruk av breispreedere. Det tilsvarer 64,4 tonn kg lystgass og 20 000 tonn CO₂. Verdien av spart mineralgjødning er utregnet til 34,5 mill. kroner.

5.2 Optimal lagerkapasitet for husdyrgjødsel

Det er etter gjødselvereforskriften krav om at lagringskapasiteten skal være minimum 8 måneders produksjon. På bakgrunn av at mange kommuner har betydelig pågang om at det gis dispensasjoner fra bestemmelsene om spredetidspunkt, er det grunn til å anta at det er mange foretak som ikke har lagringskapasitet for 8 måneders produksjon. Mange foretak har utvidet produksjonen de siste årene og lagringskapasiteten er ikke i alle disse tilfellene utvidet tilsvarende. Det må imidlertid understrekes at dette er forhold som det finnes lite kunnskap om. For å få ei optimal utnyttning av husdyrgjødsel (optimalt spredetidspunkt, værforhold m.m.) er det nødvendig med betydelig utvidelser av lagringskapasiteten.

I utvalgundersøkelsen fra 2000 finnes det informasjon om hvilke typer lager som er vanlige. I alt 67 % av gjødsla ble lagret som bløtgjødsel i kjeller, og 9 % i kum. Lager for fast gjødning og land sto for 19 % mens innendørs talle og djupstrø utgjorde 5 %. Av i alt 5 100 driftsenheter med gjødningkum var det 2 600 som hadde kum med tak. Det var særlig tilfelle på Vestlandet. Kum uten tak er mer vanlige på Østlandet.

Forutsetninger for regneeksempel

I 2000 ble det spredd i middel 2,8 m³/daa om våren på 2,23 mill. dekar eng og beite, 2,4 m³ /daa om sommeren på 1,65 mill. daa og 2,3 m³ /daa på 0,26 mill. daa om høsten (Gundersen og Rognstad 2001). Tilsvarende tall for åpen åker: Om våren ble det spredd i middel 3,6 m³ per dekar på 0,93 mill. dekar, 3,2 m³ per dekar om sommeren på 0,56 mill. dekar og 3,8 m³ per dekar på 0,29 mill. dekar om høsten. Byggekostnader for tilleggslager kan variere mye. Forsøksringen Hordaland (Austrheim og Johansen 2008) har regnet på kostnader for to ulike typer lager på 340 m³; en kum av duk og en av betong. Investeringskostnadene for disse lagrene er henholdsvis kr 130 000 og kr 201 000. Betongkummer er dyrest, dernest kommer kummer bygd av stålplater dekt med duk, og billigst er gjødsellaguner. Avskrivningstid og vedlikeholdskostnader er sannsynligvis ulik for de ulike typene anlegg. Sammenholdt med kostnader brukt ved planlegging hos Fylkesmannen i Sør-Trøndelag, Teknisk enhet, er det lagt til grunn at et lager på 340 kbm. har en kostnad på kr 170 000. Det er her regnet med en avskrivningstid på 30 år, noe som gir en årlig avskrivning på kr 5667. Vedlikeholdsutgifter er satt til kr 1000 og rentekravet til

kr 3400. Økt virkningsgrad for nitrogen ved å flytte fra sommer- til vårspredning er satt til 0,25 kg N per tonn og tilsvarende flytting fra høst- til vårspredning er estimert til 0,5 kg N per tonn.

e. Bygging av tilleggs lager for å halvere mengde spredd husdyrgjødsel til eng om sommeren og eliminere høstspredning

En halvering av mengde spredd husdyrgjødsel på eng om sommeren vil utgjøre 1 980 000 tonn. Ved å spre denne mengden om våren vil økt virkningsgrad medføre et potensial på 495 000 kg N i spart mengde mineralgjødsel. Ved å flytte all høstspredning til våren, i alt 598 000 tonn, kan en redusere forbruket av mineralgjødsel med 299 tonn nitrogen. Totalt sett vil disse endringene utgjøre 21,2 tonn lystgass eller 6 600 tonn CO₂ i redusert utslipp. Total årlig kostnad ved å øke lagerkapasiteten vil være 76,3 mill. kroner (Tabell 5.3). Sparte mineralgjødselkostnader vil utgjøre 9,1 mill. kroner.

Tabell 5.3. Kostnader med og virkninger av å bygge tilleggs lager for å kunne redusere omfanget av spredning om sommeren og å eliminere høstspredning.

	e. Lager for å halvere mengde spredd husdyrgjødsel til eng om sommeren og eliminere høstspredning	f. Lager for å halvere mengde spredd husdyrgjødsel til åpen åker om sommeren og eliminere høstspredning
Avskrivning lager, mill. kr	42,9	33,3
Vedlikehold lager, mill. kr	7,6	5,9
Rentekrav lager, mill. kr	25,8	20,0
SUM, mill. kr	76,3	59,2
Spart mengde uorganisk nitrogen, tonn	794	775
Spart nitrogen erstattes av min.gjødsel, tonn	3 700	3 600
Sparte kostnader til mineralgjødsel, mill. kr	9,1	8,9
Mindre lystgass, tonn	21,2	21,0
CO ₂ -ekvivalenter i redusert utslipp, tonn	6 600	6 500

f. Bygging av tilleggs lager for å halvere mengde spredd husdyrgjødsel til åpen åker om sommeren og eliminere høstspredning

En halvering av mengde spredd husdyrgjødsel i åpen åker om sommeren vil utgjøre 896 000 tonn. Ved å spre denne mengden om våren vil økt virkningsgrad medføre et potensial på 224 000 kg N i spart mengde mineralgjødsel. Ved å flytte all høstspredning til våren, i alt 1 102 000 tonn, kan en redusere forbruket av mineralgjødsel med 551 tonn kg nitrogen. Totalt sett vil disse endringene utgjøre 21,0 tonn lystgass eller 6 500 tonn CO₂ i redusert utslipp. Total årlig kostnad ved å øke lagerkapasiteten vil være 59,2 mill. kroner. En kan redusere mineralgjødselkostnadene med 8,9 mill. kroner.

5.3 Tilsetning av vann i husdyrgjødsel

I 2000 (Gundersen og Rognstad 2001) var det 19.800 driftsenheter som tilsatte vann i husdyrgjødsel (det tilsvarer om lag 75 % av alt eng- og beiteareal som fikk tilført husdyrgjødsel, eller 1,92 mill. dekar). Tilsetning av vann i gjødsel i forholdet 1:1 kan øke virkningsgraden av nitrogen med opptil 50 %. Men det var bare en fjerdedel av enhetene som satte til 1 del vann eller mer. Hva vil det innebære om en tilsetter mer vann i husdyrgjødsel?

Forutsetninger for regneeksempel

Innholdet av mineralsk nitrogen (ammonium-N) er satt til 2,3 kg per tonn i storfegjødsel og 4,2 kg i grisegjødsel (8 % tørrstoff). Virkningsgraden av nitrogen uten tilsetning av vann, eller

mindre tilsetning enn i forholdet 1:1 er satt til 40 %. Tilsetning av vann i 1:1 (4 % tørrstoff) har i disse beregningene en virkningsgrad på 60 %. Effekten av vanntilsetning er størst ved spredning om sommeren, og minst om våren.

g. Tilsetning av vann i 1:1 til firedelen av all gjødsel spredd på eng om våren

Om våren ble det spredd 2,8 m³ per dekar på 2,23 mill. dekar eng og beite. En mengde på 2,8 m³ på 0,56 mill. dekar vil tilsvare 1 568 000 tonn gjødsel (2 464 melkebruk, 569 grisebruk), og økt virkningsgrad vil tilsvare 830 tonn ammonium-N. En erstatning av denne mengden nitrogen i mineralgjødsel kan tilsvare 22,2 tonn lystgass eller 6 900 tonn CO₂ (Tabell 5.4). Det er lagt til grunn at det vanntilsetning ikke medfører investeringsbehov, men det vil likevel medføre økte årlige kapitalkostnader da det blir kortere levetid på utstyret. Videre vil det medføre økte kostnader til arbeid, drivstoff og vedlikehold. Ekstrakostnadene med vanntilsetning vil være på 33,1 mill. kroner. Verdien av mindre mineralgjødselbehov er satt til 9,5 mill. kroner.

Tabell 5.4. Tilsetning av vann i 1:1 til firedelen av all gjødsel spredd på eng om våren. Kostnader og virkning.

	Tilsetning vann i forholdet 1:1	Uten vanntilsetning	Differanse
Avskrivning utstyr, mill. kr	13,0	10,4	2,6
Vedlikehold utstyr, mill. kr	8,7	4,4	4,3
Vedlikehold traktor, mill. kr	11,0	5,5	5,5
Drivstoff, mill. kr	9,9	4,9	5,0
Manuelt arbeid, mill. kr	31,4	15,7	15,7
Rentekrav utstyr, mill. kr	3,1	3,1	
SUM, mill. kr	77,1	44,0	33,1
Tilgjengelig mengde uorganisk nitrogen, tonn	2 490	1 660	830
Tapt nitrogen erstattes av min.gjødsel, tonn			3 843
Sparte kostnader til mineralgjødsel, mill. kr			9,5
Lystgass, tonn			22,2
CO ₂ -ekvivalenter, tonn			6 900

h. Tilsetning av vann i 1:1 til halvparten av all gjødsel spredd på eng om sommeren

Det ble i 2000 spredd 2,4 m³ per dekar om sommeren på 1,65 mill. dekar. En mengde på 2,4 m³ på 0,825 mill. dekar vil tilsvare 1 980 000 tonn gjødsel (3 112 melkebruk, 718 grisebruk), og økt virkningsgrad vil tilsvare 1 048 tonn ammonium-N. En erstatning av denne mengden nitrogen i mineralgjødsel kan tilsvare 28,0 tonn lystgass eller 8 700 tonn CO₂ (Tabell 5.5) Ekstrakostnadene med vanntilsetning i 1:1 vil totalt være på 41,8 mill. kroner, og en kan spare 12 mill. kroner i reduserte mineralgjødselkostnader.

Tabell 5.5. Tilsetning av vann i 1:1 til halvparten av all gjødsel spredd på eng om sommeren. Kostnader og virkning.

	Tilsetning vann i forholdet 1:1	Uten vanntilsetning	Differanse
Avskrivning utstyr, mill. kr	16,5	13,2	3,3
Vedlikehold utstyr, mill. kr	11,0	5,5	5,5
Vedlikehold traktor, mill. kr	14,0	7,0	7,0
Drivstoff, mill. kr	12,4	6,2	6,2
Manuelt arbeid, mill. kr	39,6	19,8	19,8
Rentekrav utstyr, mill. kr	3,9	3,9	
SUM, kr	97,4	55,6	41,8
Tilgjengelig mengde uorganisk nitrogen, tonn	3 144	2 096	1 048
Tapt nitrogen erstattes av min.gjødsel, tonn			4 852

Sparte kostnader til mineralgjødning, mill. kr	12,0
Lystgass, tonn	28,0
CO ₂ -ekvivalenter, tonn	8700

5.4 Bedre tilpasning mellom bruk av mineral- og husdyrgjødsel

I 2000 ble det spredd i middel 4,25 m³ på 2,56 mill. dekar eng og 4,2 m³ på 1,19 mill. dekar åpen åker. Mengdene er summen av spredning om våren, sommeren og høsten. I kapittel 7.4 er det drøftet hvordan en på best mulig måte kan kombinere husdyrgjødsel og mineralgjødning. Ett av spørsmåla er hva det vil innebære om en spredde husdyrgjødsel i mindre mengder på større areal.

5.5 Aktuelle tiltak

En økning i bruk av stripespredere eller nedfellere vil være uavhengig av lagerkapasitet. En endring i spredetidspunkt vil påvirke virkningen av gjødsla, det er tatt inn i forutsetningene, men det kan selvsagt diskuteres om effektene skal være de samme i hele landet. Det er beregnet kostnader for tiltak som reduserer tap av nitrogen. Ett tiltak som ikke er tatt med er å endre fordelingen mellom total mengde gjødning spredd i åpen åker og på eng. Det vil kunne påvirke virkningen av næringsstoffene. En oppsummering av de enkelte tiltakene, med effekt på reduksjon i utslipp av lystgass og kostnad per tonn redusert utslipp er vist i Tabell 5.6. I netto årlig kostnad er verdien av sparte mineralgjødningkostnader tatt med:

Tabell 5.6. Virkning av ulike tiltak på reduksjon av utslipp av lystgass, årlig totalkostnad og kostnad per tonn redusert lystgassutslipp.

Tiltak	Redusert utslipp av lystgass, t	Netto årlig kostnad, mill. kr	Kostnad per tonn lystgass, mill. kr
a. Stripespredere på 15 % av arealet	8,7	2,2	0,25
b. Stripespredere på 50 % av arealet	48,3	12,3	0,25
c. Nedfellere på 15 % av arealet	11,7	9,8	0,85
d. Nedfellere på 50 % av arealet	64,4	54,1	0,85
e. Lager for å endre tidspunkt for spredning i eng	21,2	67,2	3,17
f. Lager for å endre tidspunkt for spredning i åker	21,0	50,3	2,40
g. Tilsetning av vann om våren	22,2	23,6	1,05
h. Tilsetning av vann om sommeren	28,0	29,8	1,05

Regneeksemplene (Tabell 5.6) viser at kostnaden per tonn redusert lystgassutslipp er langt mindre ved å investere i stripespredere enn ved å utvide lagerkapasiteten slik at en kan spre gjødsla på mer gunstige tidspunkt. Kostnadene med innblanding av vann og investering i nedfellingsutstyr ligger mellom kostnadene for de andre tiltakene.

6. Nitrogengjødsling til åpen-åkervekster

Gjødsling med N-holdig gjødsel innebærer en risiko for at noe av det tilførte N tapes til omgivelsene, som for eksempel til luft i form av lystgass. Hvis jorda/plantene tilføres mer N enn nødvendig, øker risikoen for N-tap. Overforbruk av N over tid gir økt N-utvasking. Hvorvidt overforbruk av N også bidrar til økte lystgasstap avhenger av flere faktorer, spesielt dreneringsstatus. Risikoen for lystgasstap vil reduseres ved at en unngår overforbruk av N. Det er imidlertid viktig å understreke at en reduksjon av overforbruket gjennom en generell reduksjon av N-tilførsel er lite målrettet. Målet er å øke utnyttingsgraden av det tilførte N. Dette skjer best ved at bonden gjødsler riktigst mulig, det vil si at gjødslingen tilpasses plantenes behov. For at bonden skal gjødsle riktigst mulig (unngå overforbruk av N), er det siden 1998 et krav om at det skal settes opp en gjødslingsplan hvert år for hvert enkelt skifte på alle driftsenheter som mottar arealtilskudd. I planen skal det blant annet gå fram hva som er forventet avlingsnivå, og gjødslingsmengden justeres deretter. Gjødslingsplanen skal altså gjøres på skiftenivå, noe som innebærer at eventuell variasjon i gjødselbehov innenfor det enkelte skiftet ikke tas hensyn til. I det følgende skisseres tre tiltak som vil kunne bidra til riktigere gjødsling. Et tiltak som omfatter en generell reduksjon i N tilførselen er også med, selv om dette i seg selv ikke bidrar til riktigere gjødsling.

6.1 Sørge for at gjødslingsplanen blir fulgt i praksis

Per i dag gjøres det ingen kontroll av at gårdbrukeren faktisk følger de oppsatte gjødselmengdene i gjødslingsplanen. I prinsippet kan det dermed gjødsles helt uavhengig av planen, og en kan se for seg at enkelte gjødsler langt mer enn de burde. Det vil teoretisk sett kunne bidra til store lystgasstap fra disse arealene. Det eksisterer imidlertid ingen data som gir grunnlag for å kunne kvantifisere omfanget av en slik praksis, verken med hensyn til antall gårdbrukere som ikke følger gjødslingsplanen, eller størrelsen på det eventuelle overforbruket. Det er lite sannsynlig at dette er et spesielt omfattende problem for kornarealene, da legderisikoen øker med økende gjødsling til kornet. For andre vekster, slik som for eksempel potet og grønnsaker, kan problemet være større.

Virkemiddel 6.1

Innføre stikkprøvekontroll på gårdsnivå, der mengden innkjøpt gjødsel sammenholdes med behovet for gjødsel ut fra gjødslingsplanene. Kontrollen kan gjøres lettere ved at det legges inn en summeringsfaktor i gjødslingsplanprogrammene, slik at mengdene av de ulike gjødseltypene (kg/daa) multipliseres med arealet de skal brukes på og deretter summeres opp for hele gården.

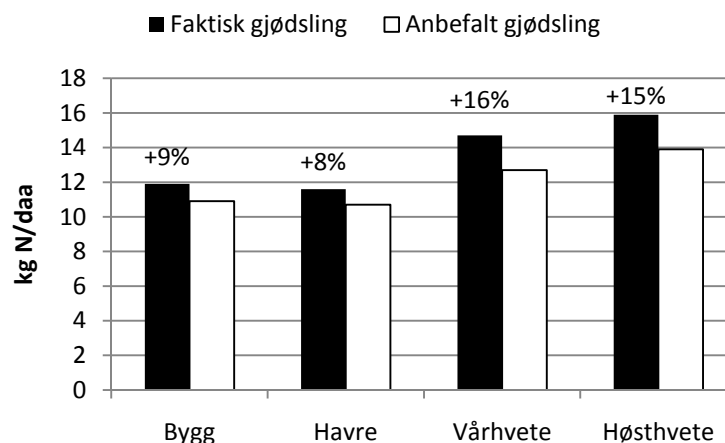
Effekt av virkemiddel 6.1

Det er ikke mulig å beregne effekten av virkemidlet, da det ikke foreligger data som kan brukes til å vurdere dagens omfang av beskrevet, uønsket praksis.

6.2 Innskjerpe bruk av middelavling som forventet avling i gjødslingsplanene

Når en skal lage en gjødslingsplan for et skifte må det legges inn en del opplysninger om bl.a. forgrøde, jordprøveanalyser og forventet avlingsnivå. Mengden gjødsel styres i stor grad av hvor stor avling som forventes på skiftet, og det er derfor viktig at dette nivået settes så riktig som mulig. Med forventet avling menes avlinga man kan forvente på gjeldende skifte i et normalår, med andre ord middelavlinga for skiftet. I praksis har det imidlertid vist seg at mange har en tendens til å sette forventet avling mer i retning av hva man kan forvente seg i et meget godt år. Dette vil da føre til at det gjødsles for mye i år der avlinga ikke når de store høyder, som altså gjelder de fleste år. Som for 6a er det vanskelig å kvantifisere omfanget av en slik overvurdering av avlingspotensialet.

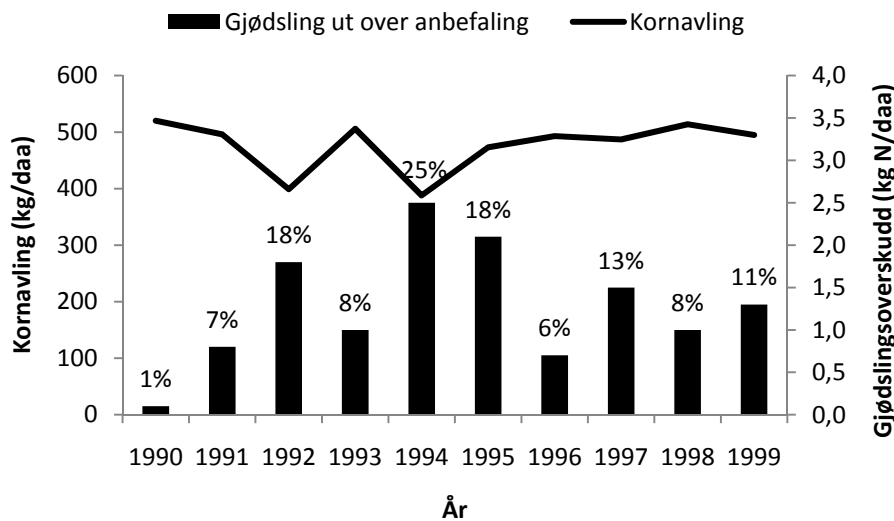
Riley m. fl. (2002) gjorde en analyse av forholdet mellom faktisk gjødsling og høstet avling over en tiårsperiode (1990-1999) på 250 kornskifter som var med i ”N-prognoseprosjektet”. Hverken gjødslings- eller avlingsmengdene ble målt direkte, men rapportert fra gårdbrukeren for hvert skifte. Ut fra informasjonen om avling ble anbefalt gjødslingsmengde så beregnet i ettertid, og sammenholdt med det som faktisk ble gjødslet (Fig. 6.1).



Figur 6.1. Faktisk gjødsling i kornskifter på Østlandet (middeltall for årene 1990-1999, til sammen 250 skifter) og anbefalt gjødsling beregnet i ettertid ut fra oppgitt avling. Avviket er vist i prosent av anbefalt gjødsling (etter Riley m. fl., 2002)

Resultatene viste at faktisk gjødsling lå på et nokså riktig nivå for bygg og havre, med et avvik på mindre enn 10 %. Avviket var noe større for hvete (15-16 %). Det kan skyldes at proteininnholdet i kornet hadde veldig stor betydning for hvetepreisen på denne tiden, og at bonden derfor gjødslet hveten litt kraftigere for å sikre et høyt proteinnivå. De senere årene har pristilleggene for høyt proteininnhold vært mye mindre, slik at avviket sannsynligvis er lavere for hvete nå.

Avvikene for det enkelte år var til dels vesentlig større (Fig. 6.2). Tørkeårene 1992 og 1994 ga for eksempel lave avlinger og store avvik mellom faktisk gjødsling og det som ville vært anbefalt gjødsling. Slike avvik kan vanskelig unngås, da en ikke har grunnlag til å vite noe om hvordan avlingsnivået vil bli på gjødslingstidspunktet. En gjør da minst feil ved å gjødsle ut fra forventet middelavling.



Figur 6.2. Kornavling og avvik mellom faktisk og anbefalt gjødsling (gjødslingsoverskudd) i 250 kornskifter på Østlandet (midlet over alle kornartene). Anbefalte gjødselmengder ble beregnet i ettertid ut fra oppgitt avling (etter Riley m. fl., 2002)

Resultatene vist her (Fig. 6.1 og 6.2) indikerer at gjødslingsnivået for kornsektoren var i området 10-15 % for høyt på 90-tallet. Det må imidlertid understrekes at datamaterialet i vesentlig grad stammer fra tiden før det ble obligatorisk med gjødslingsplanlegging (1998).

Til sammenligning presenterte Briseid m.fl. (2008) tall som indikerte et overforbruk av N-gjødsel på 22 og 17 % for henholdsvis bygg og hvete. Her ble avlingstall fra SSB (middeltall for 1990-1999) kombinert med data på N-gjødselforbruk for 1999 (fra jordbrukstelingen samme år). I utvalget inngikk 5511 gårdsbruk med bygg og 4283 bruk med hvete, alle uten husdyr. Tallmaterialet ga ikke grunnlag for en splitting i vår- og høsthvete.

Som et ledd i digitaliseringen av gårdskart som nå pågår, blir arealene kontrollert. Det har vist seg at arealene som legges til grunn ved søknad om produksjonstilskudd har vært gjennomgående for høye. Dette skyldes blant annet at det ikke har vært tilstrekkelig korrigert for arealer som er omdisponert til f.eks. driftsbygninger, eller som har gått ut av produksjonen av andre årsaker. En overestimert av arealet vil gi en underestimert av avlingsnivået. Overforbruket som er beregnet i rapporten til Briseid m.fl. (2008) kan derfor være noe overestimert.

Selv om bakgrunns materialet er nokså sprikende og usikkert, kan det se ut som om 10-20 % er et rimelig anslag på overforbruk av N grunnet overoptimistisk avlingsforventning (en gjødsler til en forventet avling som en ikke oppnår).

Virkemiddel 6.2

Presisere for alle som lager gjødslingsplaner at middelavling skal legges til grunn for ”forventet avling” og ikke et avlingsnivå basert på en optimistisk forventning. Dette kan styrkes gjennom rådgivning, og gjennom en endring av dagens gjødslingsplanprogrammer slik at tidligere års (faktiske) avlinger med samme vekst fra skiftet må legges inn. Gjennomsnittet av tidligere års faktisk oppnådde avlinger benyttes da som forventet avling.

Effekt av virkemiddel 6.2

Hvor stort vil da innsparingspotensialet være ved en riktigere fastsetting av forventet avlingsnivå?

Tabell 6.1. Redusert N-forbruk ved riktig fastsetting av forventet avlingsnivå

Kornart	Areal ¹ [1000 daa]	Gjødslingsnivå ² [kg N/daa]	Forbruk [tonn N]	Reduksjonspotensial ³ [tonn N]		
				-10 %	-15 %	-20 %
				Bygg	1 282	11
Havre	769	11	8 459	846	1 269	1 692
Vårhvete	563	14	7 882	788	1 182	1 576
Høsthvete	368	16	5 888	589	883	1 178
Rug	82	14	1 148	115	172	230
Oljevekster	48	14	672	67	101	134
Sum				3 815	5 723	7 630

¹ Tall fra SSB for 2008.

² Normalt gjødslingsnivå i 2008, anslag.

³ Potensiell reduksjon i forbruket av N hvis bonden gjødsler ut fra en forventet avling som ligger 10, 15 eller 20 % for høyt i forhold til faktisk middelavling.

Riktigere fastsetting av forventet avling vil kunne redusere forbruket av N med mellom 3800 og 7600 tonn N årlig for kornarealene (tabell 6.1). Omregnet gir dette 75-150 tonn N₂O, som igjen tilsvarer 23 231 – 46 461 tonn CO₂-ekvivalenter. Virkemidlet vil ikke påvirke avlingene, men derimot redusere bondens kostnader til gjødsel.

6.3 Utvide bruken av delt gjødsling (unngå å tildele all gjødsel ved såing)

Delt gjødsling innebærer redusert gjødsling ved såing, kombinert med en eller flere gjødslinger seinere i vekstsesongen. Gjennombruddet for denne gjødslingsstrategien innen korndyrkingen skjedde på slutten av 1980-tallet, da det ble innført betaling etter proteininnhold i hvete. Ved å gi en del av nitrogenet i tida omkring aksskyting oppnådde man økt proteininnhold og dermed høyere pris. Pristilleggene for høyt proteininnhold gjelder kun hvete og er ikke like store lenger. Men det finnes andre argumenter for delt gjødsling som gjør dette til en interessant strategi i alle kornarter. Potensielle fordeler med delt gjødsling til korn er økt proteininnhold, redusert legderisiko, samt generelt økte muligheter for å tilpasse gjødslinga til plantenes behov den enkelte vekstsesong. Ved delt gjødsling kan korndyrkeren ved vårgjødsling gi en gjødselmengde tilpasset en meget forsiktig avlingsforventning, ved delgjødslingstidspunktet kan bestandens potensial vurderes og gjødselmengden tilpasses dette. Denne justeringsmuligheten representerer en potensiell miljømessig og økonomisk gevinst.

Ved delt gjødsling blir det kortere tid mellom tildeling av gjødsel og planteopptak, slik at tida nitrogenet er eksponert for tap til omgivelsene reduseres og dermed reduseres også risikoen for uønsket tap. Særlig på lette jordtyper ved store nedbørmengder tidlig i vekstsesongen kan nitrogentapet være betydelig. Delt gjødsling har de siste 15-20 årene vært den vanligste gjødslingsstrategi i hvete (både vår- og høsthvete) og rug, og blir benyttet på bortimot alt areal av disse artene i Norge. De seinere årene har interessen for delt gjødsling til bygg og havre vært stigende, men det er fortsatt klart mest vanlig å gi all gjødsel ved såing her.

Virkemiddel 6.3

Stimulere til utvidet bruk av delt gjødsling til bygg og havre, særlig på utvaskingsutsatt jord. Sikre at delgjødslingsstrategier som bidrar til best mulig nitrogenutnyttelse tas i bruk i alle kornarter. Styrket opplæring innen riktig vedlikehold, innstilling og bruk av gjødselsprekere for delgjødsling (jfr. Prosjektet ”Riktig gjødsling i praksis”, ledet av Selskapet for Norges Vel). Tiltak 6c ses i sammenheng med tiltak 6b (avlingsforventning), på den måten at tiltak 6c innebærer ei vårgjødsling tilpasset en meget forsiktig avlingsforventning. Og at justeringsmuligheten ved delgjødsling nyttes aktivt for å tilpasse gjødslinga dersom antatt avlingspotensial avviker fra opprinnelig avlingsforventning.

Effekter av virkemiddel 6.3

Resultater for bygg og havre fra forsøk utført i årene 2003-2005 tyder ikke på at delt gjødsling i seg selv gir noen entydig bedre nitrogenutnyttelse enn det en har ved å gi all gjødsel ved såing om våren. Økt N-utnyttelse vil først og fremst oppnås i tilfeller der en ved delgjødslingstidspunktet vurderer åkeren til å ha mindre N-behov enn det man opprinnelig antok og at en derfor reduserer eller dropper delgjødsling, eller i situasjoner der en har stor risiko for N-tap forårsaket av mye nedbør rett etter såing.

I en gruppering etter nedbørsmengde på forsommeren, ga delt gjødsling noe bedre avlingsresultater i bygg ved mye nedbør enn ved mer moderate nedbørsmengder på forsommeren (tabell 6.2). Dette kan skyldes at en ved store nedbørsmengder i større grad har unngått N-utvasking ved delt gjødsling i forhold til der all gjødsel har blitt gitt ved såing, og/eller at hyppig regn har gjort at gjødsel tilført på jordoverflata raskt har kommet plantene til nytte. Ved det laveste N-nivå som ble prøvd ved såing (5 kg N per daa) var det en klar tendens til avlingsnedgang dersom en utsatte delgjødsling fra tre-bladstadiet (BBCH 13) til begynnende stråstrekning (BBCH 31).

Tabell 6.2. Kornavling ved ulike gjødslingsstrategier i bygg gruppert etter nedbørsmengde i perioden fra såing til sju dager etter begynnende stråstrekning, 2003-05

Nedbørsmengde		< 100 mm		100 -150 mm		> 150 mm	
Ledd	N-gjødsling	Avling	Relativ	Avling	Relativ	Avling	Relativ
	Vår+	Kg/daa	Avling	Kg/daa	Avling	Kg/daa	Avling
	BBCH 13+		%		%		%
	BBCH 31						
1	0+0+0	283	55	212	38	163	33
2	5+7+0	508	100	570	101	516	106
3	5+0+7	500	98	534	95	472	97
4	8+4+0	512	100	570	101	514	105
5	8+0+4	512	100	564	100	502	103
	Antall felt	10		11		9	

Resultatene for havre viste samme tendens som for bygg, men utslagene var mindre (data ikke vist). En skal imidlertid være forsiktig ved sammenligning av resultatene i bygg og havre da feltene lå på ulike forsøkssteder. Forskjellene kan dermed i noen grad skyldes en stedeffekt. Ingen av de undersøkte gjødslingsstrategiene (ledd 1-5) ga uheldige konsekvenser av betydning for kvalitetsparameterne som ble registrert, verken i bygg eller havre.

Sammenlignet med å gi all gjødsla ved såing viste resultatene at en kan oppnå en viss avlingsgevinst for delt gjødsling til bygg ved riktige valg av gjødselmengder og tildelingstidspunkt. I havre tyder resultatene på at det vil være realistisk å kunne opprettholde avlingsnivået. Oppsummert vil delt gjødsling i bygg og havre normalt ikke medføre stor nok meravling til at dette alene kan være argument for å velge en slik praksis. Redusert legderisiko nevnes ofte som en fordel ved delt gjødsling. Ved det N-nivået og de strategiene som ble prøvd i disse forsøkene ble det imidlertid ikke dokumentert noen entydig legdereduserende effekt av delt gjødsling. Ved delgjødslingstidspunktet kan bestandets potensial vurderes og gjødselmengden tilpasses dette. Denne justeringsmuligheten representerer en potensiell miljømessig og økonomisk gevinst. Det er imidlertid grunn til å påpeke at aktuelle delgjødslingstidspunkt i bygg og havre er relativt tidlig i vekstsesongen, og at man dermed ikke bør overvurdere mulighetene for en treffsikker vurdering av avlingspotensialet.

Når det gjelder bygg og havre er aktuelle delgjødslingstidspunkt så tidlig i vekstsesongen at avlingstap på grunn av nedkjørt åker kan antas å være ubetydelig. Med hensyn til ekstra arbeid knyttet til delt gjødsling oppveies dette i stor grad av mindre arbeid med gjødselhåndtering ved såing på grunn av redusert gjødselmengde da. Det er imidlertid viktig å ta med i betraktningen at mange korndyrkere per i dag ikke har godt nok spredeutstyr for gjødseltildeling i vekstsesongen og at det dermed for mange vil innebære et behov for nyinvestering.

Størst potensial for redusert N-tap ved utvidet bruk av delt gjødsling vil man sannsynligvis ha på lett jord under nedbørrike forhold rett etter såing. Arealene der delt gjødsling nyttes til bygg og havre har sannsynligvis økt noe de seinere år, men den klart dominerende praksis er fortsatt å gi hele gjødselmengden ved såing. Det vil derfor være mulig å øke bruken av delt gjødsling betraktelig innen disse artene. For hvete og rug er delt gjødsling allerede en godt innarbeidet strategi, likevel kan det gjennom optimalisering av gjeldende praksis fortsatt være et potensial for reduksjon av N-tapet også i disse artene.

For å tallfeste potensialet for redusert N-tap ved bruk av delt gjødsling til bygg og har vi gjort beregninger for å anslå mulig N-tap i tidsrommet mellom såing og delgjødsling (Tabell 6.2 og 6.3). Det er en rekke usikre faktorer i dette og det er viktig å understreke at vi her kan ha store variasjoner.

Tabell 6.3. Beregnet prosentvis utvasking av nitrogen fra rotsonen (60 cm) ved ulike jordtyper og nedbørsoverskudd (nedbør minus fordampning). Det forutsettes at det ikke var plantevekst før utvasking skjedde (eventuelt N-opptak i kornplantene gir lavere verdier) (fra Riley, 1996)

Jordtype	Nedbørsoverskudd		
	50 med mer	100 mm	150 mm
Lett jord	5 %	23 %	37 %
Tyngre jord	0 %	7 %	17 %

Beregnet utvaskingstap øker med økende nedbørsoverskudd etter gjødsling, og tapet er større på lett enn på tung jord (Tabell 6.3). Beregningene i tabell 6.4 viser at risikoen for N-utvasking fra rotsonen øker med økende andel av gjødselmengdene som tildeles ved såing. Det er brukt 11 kg N pr daa som et anslag for normalt N-gjødslingsnivå til bygg og havre (som i tabell 6.1)

Tabell 6.4. Beregnet kg N pr daa tapt fra rotsonen på to ulike jordtyper ved ulike nedbørsoverskudd og N-gjødslingsnivå ved såing. Tallene forutsetter at det ikke var plantevekst før utvaskingen skjedde (eventuelt N-opptak i kornplantene gir lavere verdier)

Gjødsling v/såing	Jordtype	Nedbørsoverskudd i perioden såing – delgjødsling			
		0 med mer	50 mm	100 mm	150 mm
<i>Kg N pr daa, tapt fra rotsonen ved utvasking</i>					
5 kg N pr daa	Lett	0	0,25	1,15	1,85
	Tyngre	0	0	0,35	0,85
8 kg N pr daa	Lett	0	0,4	1,84	2,96
	Tyngre	0	0	0,56	1,36
11 kg N pr daa	Lett	0	0,55	2,53	4,07
	Tyngre	0	0	0,77	1,87

I tabell 6.5 er det vist hvor mye N- tapet kan reduseres ved henholdsvis 5 og 8 kg N pr daa gitt ved såing sammenlignet med 11 kg N pr daa gitt ved såing ved ulike forutsetninger. Eventuelt nedbørsoverskudd i korndyrkingsområdene i perioden fra såing til delgjødsling vil variere betydelig mellom områder og år. Med forutsetningene som er lagt til grunn vil en på lett jord kunne redusere N-tapet i omtalte periode med fra 0 til 2,2 kg N pr daa, mens tilsvarende beregninger for tyngre jord viser 0 til 1,0 kg N pr daa (tabell 6.5). Tallene forutsetter at det ikke var plantevekst (N-opptak) før utvaskingen skjedde, og representerer slik sett et ”worst case” scenario for utvasking, og et ”best case” for gevinsten av delgjødsling. Samlet nedbør på over 150 mm før plantevekst er til stede forekommer sjelden.

Tabell 6.5. Reduksjon i N-tap fra rotsonen ved å redusere mengde N gitt ved såing ved på ulike jordtyper og ved ulike nedbørsoverskudd (nedbør minus fordamping i perioden såing - delgjødsling). Tallene forutsetter at det ikke var plantevekst før utvaskingen skjedde (eventuelt N-opptak i kornplantene gir lavere verdier)

Gjødsling ved såing	Jordtype	Redusert N-tap fra rotsonen ved ulike nedbørsoverskudd			
		0 med mer	50 mm	100 mm	150 mm
5 vs. 11 kg N per daa	Lett	0	0,3	1,4	2,2
	Tyngre	0	0	0,4	1,0
8 vs. 11 kg N per daa	Lett	0	0,15	0,7	1,1
	Tyngre	0	0	0,2	0,5

Tabell 6.6 viser det maksimale potensialet for redusert N-tap ved delt gjødsling praktisert på det norske dyrkingsarealet av bygg og havre. Det praktiseres allerede delt gjødsling på en del arealer i dag, men dette er det ikke tatt hensyn til i tabellen.

Tabell 6.6. Redusert N-tap etter redusert N-gjødsling ved såing, ved ulike nedbørsoverskudd mellom 0 og 150 mm og et totalareal av bygg og havre på 2 mill daa der 30 % av areal klassifiseres som lett jord og 70 % som tyngre jord

Gjødsling ved såing	Jordtype	Antall daa	Nedbørsoverskudd, med mer			
			0 mm	50 mm	100 mm	150 mm
<i>Redusert N- tap, totalt (tonn N)</i>						
5 vs 11 kg N pr daa	Lett	600 000	0	180	840	1320
	Tyngre	1 400 000	0	0	560	1400
8 vs 11 kg N pr daa	Lett	600 000	0	90	420	660
	Tyngre	1 400 000	0	0	280	700

6.4 Ta i bruk presisjonsgjødsling

Før industrialismen gjorde sitt inntog i jordbruket var jordstykkene små og relativt ensartede. Bonden hadde god lokalkunnskap om jorda og forholdene ellers på det enkelte jordstykket og kunne tilpasse drifta deretter. Så kom maskinene. Med maskinene kom et behov for større og bedre arronderte jordstykker. Bekker ble lagt i rør, bekkedaler utplanert, hekker og steingjerder fjernet, og nydyrkingen skjøt fart. En bieffekt av dette var ofte økt jordvariasjon innenfor hvert jordstykke. Samtidig som jordvariasjonen dermed generelt sett økte, var de nye og effektive maskinene ikke egnet til å variere behandlingen i særlig grad innenfor jordstykker.

Gjennomsnittsbetraktninger dannet dermed grunnlaget for de fleste avgjørelser med hensyn til valg av vekster, jordarbeiding, gjødsling og plantevern, og det industrialiserte jordbruket ble sterkt preget av et slikt "gjennomsnittsregime". Dette er i stor grad fortsatt gjeldende i Norge.

Det eksisterer imidlertid et alternativt konsept som tar i bruk avansert teknologi for å tilpasse behandlingen av jord og vekst til den variasjonen en finner innenfor jordstykker. Dette konseptet går under navnet presisjonsjordbruk. Stikkord her er GPS (globalt posisjoneringssystem), GIS (geografiske informasjonssystemer) og VRT (variabel rateteknologi = teknologi for variabel spredning av produksjonsfaktorer som kalk, gjødsel, plantevernmidler, etc.).

Hovedmålet med presisjonsjordbruk er å øke utnyttingsgraden av innsatsfaktorene. Økt utnyttingsgrad av N-gjødsel, for eksempel, gir bedre økonomi for bonden og mindre negativ miljøpåvirkning. Presisjonsgjødsling tar altså sikte på å tilpasse gjødselmengden til variasjoner i avlingsnivå som finnes innenfor skifter, som følge av jordvariasjon eller andre faktorer. Viktige jordfaktorer som bestemmer avlingsnivå kan være tekstur, moldinnhold, dreneringsgrad mm. Disse påvirker både vann- og næringsforsyningen til plantene. I tillegg til variasjon i jordegenskaper som er relativt konstante over tid kommer effekter av været i vekstsesongen og interaksjoner mellom vær- og jordegenskaper. Gevinstene ved et system som tilpasser gjødslingsmengden etter behovet øker med variasjonen.

Virkemiddel 6.4

Stimulere til bruk av presisjonsgjødsling til korn. Dette innebærer at det må legges til rette for at slike tjenester tilbys i Norge. Per i dag eksisterer det ingen kommersielle systemer for presisjonsgjødsling i Norge. I våre naboland brukes imidlertid et system basert på en traktormontert sensor (N-sensor) som muliggjør stedsspesifikk delgjødsling til korn. I Sverige ble nesten 500 000 daa gjødslet med dette systemet i 2009.

Effekter av virkemiddel 6.4

Siden det her dreier seg om systemer med mange variabler, og siden gevinstpotensialene er relativt små, er det vanskelig å dokumentere klare effekter av presisjongjødsling, både på økonomi og på miljø.

Mange studier har vist at stedstilpasset gjødsling (presisjongjødsling) gir en avlingsgevinst, som for eksempel til vårhvete (Walley m.fl. 2001), vinterbygg (James og Godwin 2003), og vårbygg (Friis and Knudsen 1999). Men ofte har ikke avlingsgevinsten vært stor nok til å dekke tilleggskostnaden forbundet ved å tildele gjødsla med varierende mengde (f. eks. Wibawa m.fl. 1993). En litteraturstudie gjennomført av Swinton og Lowenberg-DeBoer (1998) viste at den økonomiske gevinsten var sterkt korrelert med det potensielle dekningsbidraget til veksten. Såkalte "high-value crops", slik som poteter og grønnsaker har dermed et større potensial for økonomisk gevinst enn det kornartene har.

Det finnes svært få studier som viser miljøeffekter av presisjongjødsling direkte. Ferguson m.fl. (2002) fant redusert mengde nitrat i rotsonen (0-0,9 m dyp) etter presisjongjødslet mais i tre av 13 felt-år, sammenlignet med ledd der gjødsla var jevnt fordelt. Imidlertid har flere studier vist indirekte at presisjongjødsling har en miljøeffekt. For eksempel rapporterte Koch m.fl. (2004) at presisjongjødsling av mais reduserte bruken av N-gjødsel med 6-46 % sammenlignet med en konvensjonell gjødslingspraksis.

I en norsk studie ble effekter av presisjongjødsling av bygg dyrket på morenejord undersøkt i to feltforsøk over en fireårsperiode (Korsaeth og Riley, 2005). Resultatene viste at det var en potensiell nedgang i mengden ikke forbrukt N-gjødsel ved presisjongjødsling (en ser her på VR_{N15} , leddet med maksimalt 15 kg N/daa. Gjødsling med mer enn 15 kg N/daa til bygg, slik som VR_{N18} , er ikke praksisnært selv ved overvurdert avlingsnivå) (Tabell 6.7).

Tabell 6.7. Estimerte middeleffekter (3 år) av ulike gjødslingsstrategier på avling, N-forbruk, dekningsbidrag og mengden ikke forbrukt N-gjødsel. Inkluderte strategier var jevn gjødsling med 12 kg N/daa (J_{N12}) og gjødsling med varierende N-rate med maksimum 15 kg N/daa (VR_{N15}) eller 18 kg N/daa (VR_{N18}). Alle strategiene ble testet med bade norske og svenske priser på bygg og N-gjødsel (Etter Korsæth og Riley, 2005)

	Norske priser ¹			Svenske priser ²		
	J_{N12}	VR_{N15}	VR_{N18}	J_{N12}	VR_{N15}	VR_{N18}
<i>Apelsvoll</i>						
Avling (kg daa ⁻¹)	617	626	634	617	623	630
N-forbruk (kg N daa ⁻¹)	12.0	12.2	13.0	12.0	11.8	12.2
Dekningsbidrag ³ (€ daa ⁻¹)	127	129	130	46	47	47
Ikke forbrukt N-gjødsel ⁴ (kg N daa ⁻¹)	2.7	2.3	2.8	2.7	2.2	2.4
<i>Kise</i>						
Avling (kg daa ⁻¹)	523	537	545	523	531	537
N-forbruk (kg N ha ⁻¹)	12.0	12.4	13.2	12.0	11.4	11.8
Dekningsbidrag (€ daa ⁻¹)	106	109	110	38	39	40
Ikke forbrukt N-gjødsel (kg N daa ⁻¹)	4.9	5.0	5.6	4.9	4.4	4.6

¹ 2005-priser Norge: $P_N = 1.070 \text{ € kg N}^{-1}$ (8.6 NOK), $P_Y = 0.226 \text{ € kg bygg}^{-1}$ (1.81 NOK).

² 2005-priser Sverige: $P_N = 0.747 \text{ € kg N}^{-1}$ (7.0 SEK), $P_Y = 0.090 \text{ € kg bygg}^{-1}$ (0.84 SEK).

³ Dekningsbidrag beregnet som avlingsverdi minus kostnader til N-gjødsel.

⁴ Ikke forbrukt N-gjødsel er kalkulert som N-forbruk minus det N i byggplanten som kommer fra gjødslinga (N i halm og korn korrigert for N i det ugjødslede leddet i samme gjentak).

På det ene feltet var nedgangen 0,4-0,5 kg N/daa (Apelsvoll). På det andre feltet (Kise) ga presisjongjødsling ingen potensiell miljøgevinst ved bruk av norske 2005-priser (VR_{N15} ga derimot en økning på 0,1 kg N/daa), mens det med svenske 2005-priser ville gitt en nedgang i mengden ikke forbrukt N-gjødsel på nivå med Apelsvollfeltet (0,5 kg N/daa). Analysene viste altså at den potensielle miljøgevinsten ved presisjongjødsling økte når forholdet mellom prisen på N (P_N) og prisen på kornet (P_K) økte (økende P_N/P_K). Dette innebærer at prisoppgangen vi har hatt på N-gjødsel siden 2005-nivået gjør at miljøgevinsten ved presisjongjødsling nå er større i Norge (en nesten tredobling av N-prisen kombinert med bare en mindre prisoppgang på kornet gir mye høyere P_N/P_K) enn det som kommer fram av studiet til Korsæth og Riley (2005). Presisjongjødsling av bygg antas derfor å kunne redusere N-tapet fra 0-0,5 kg N/daa, avhengig av jordvariasjonen. Samme estimat legges til grunn for havre.

Miljøgevinsten av presisjongjødsling til hvete kan være større enn til bygg på grunn av generelt høyere gjødslingsnivå. Bioforsk har datagrunnlaget klart for å gjøre en tilsvarende beregning for vårhvete, men selve analysen gjenstår. Foreløpig benyttes imidlertid samme anslag for hvete som for bygg.

Presisjongjødsling kan altså gi bedre utnytting av tilført N, noe som i seg selv ikke honoreres ved gjeldende metode for estimering av lystgasstapet. Økt utnytting av gjødsla gir imidlertid redusert risiko for N-utvasking. Noe lystgass kan dannes nedstrøms fra jordet (i vassdrag og grunnvann) som et resultat av en reduksjon av N-utvaskinegn. Andelen lystgass dannet etter utvasking av N er imidlertid liten (IPCC, 2006: 0.75 % av utvasket N). Selv om effekten av presisjongjødsling på lystgasstapet ser ut til å være beskjeden (Tabell 6.8), er det grunn til å understreke at effekten er betydelig når det gjelder redusert risiko for N-avrenning/N-utvasking.

Tabell 6.8. Potensiell reduksjon i lystgasstap ved presisjongjødsling av kornarealene

Faktor	Middelverdi	Enhet
Kornareal	3 000 000	daa
Andel med stor variasjon ¹	20	%
Potensielt areal for 6d	600 000	daa
Antatt reduksjon av N-tap ²	0.25	kg N/daa
Antatt samlet N-reduksjon	150 000	kg N
Andel N_2O av N-reduksjonen ³	0.0075	kg N_2O -N/kg utvasket N
Samlet N_2O -N reduksjon	1 125	kg N_2O -N
Samlet N_2O reduksjon	1 768	kg N_2O
Samlet reduksjon i CO_2 -ekv. ⁴	548	tonn CO_2 -ekvivalenter

¹ Effekt av presisjongjødsling forutsetter at variasjonen innen samme jordstykke er av en viss størrelse. Små skifter vil sannsynligvis være mer homogene enn store skifter.

² Satt til halvparten av maksimalt beregnet potensial til bygg.

³ Anslag, IPCC (2006).

⁴ Omregningsfaktor fra N_2O til CO_2 -ekvivalenter: 310.

Presisjongjødsling forutsetter at delgjødsling benyttes. Følgelig må virkemiddelet ses i sammenheng med 6c.

Siden utstyr for presisjongjødsling ikke er kommersielt tilgjengelig i Norge per i dag, eksisterer heller ingen pris for tjenesten. I Sverige koster tjenesten, inklusive mann og traktor, omlag 25 SEK/daa for første gangs delgjødsling og 12-16 SEK/daa for andre gangs delgjødsling (K. Nissen, pers. med.). En regner med en avlingsgevinst ved presisjongjødsling i området 3-6 %.

Andre fordeler som rapporteres er jevnere kvalitet og dermed også mer effektiv innhøsting ved bruk av metoden.

6.5 Endring i normene

Som nevnt innledningsvis er tiltak 6a-d rettet mot en bedre utnytting av tilført N-gjødsel, gjennom ulike agronomiske forbedringer. I dette tiltaket (6e) vurderes effektene av endrede normer. Bioforsks gjødslingsnormer ble utarbeidet på midten av 1990-tallet på grunnlag av forsøksresultater som var tilgjengelig på det tidspunktet (Riley 1996). Normene utgjør grunnlagsmaterialet brukt i gjødslingsplanprogrammene. Normene, som er under kontinuerlig oppdatering, betraktes som ”riktig” ut fra et agronomisk synspunkt. Riktignok ble normene opprinnelig laget med en målsetning om økonomisk optimering, men senere undersøkelser har vist at disse normene ligger nokså nær det en kan regne som et miljømessig optimum (Riley m.fl. 2002). En reduksjon i normene kan med andre ord ikke begrunnes ut fra et agronomisk ståsted.

Virkemiddel 6.5

Redusere gjødslingsnormene med en viss prosentsats av opprinnelig. Dette innebærer en justering av tabeller og modellfunksjoner som angir anbefalt gjødslingsmengde ut fra forventet avling.

Effekter av virkemiddel 6.5

Resultater av forsøk utført fra 1991 til 2007 har nylig gitt grunnlag for beregning av økonomisk optimal gjødsling til ulike kornarter ved ulikt avlingsnivå og ulike prisrelasjoner (Riley, upublisert). Materialet omfatter 240 feltforsøk (107 i bygg, 32 i havre, 54 i vårhvete, 47 i høsthvete). Det brukes her ligninger utledet fra dette materialet for å se på virkningen av å endre normene på avling og nettoverdi under varierende gjødselsprisindekser.

For å beregne virkningen av å endre normene, er omtrentlig middelavlingsnivå på landsbasis fastsatt på grunnlag av en gjennomgang av SSBs avlingsstatistikk (1981-2008): Bygg 375 kg, havre 350 kg, vårhvete 450 kg, høsthvete 500 kg (sistnevnte tall er satt etter skjønn). Anbefalt normgjødsling (kg N/daa) ved disse avlingsnivå er hhv. 9,1, 7,7, 11,3 og 12,1 kg. Det er her ikke tatt med evt. justeringer som gjøres på grunnlag av jordas moldinnhold, vekstfølge og tidligere bruk av organisk gjødsel.

Tabell 6.9 viser effekten av å redusere normene med 10 %, 15 % og 20 %. Beregningene er gjort med målprisene for korn i sesongen 2008-9 (bygg kr 2,01, havre kr 1,85 og mathvete kr 2,35). To prisnivå for N-gjødsel er brukt, som dekker omtrent ytterpunktene som man har opplevd det siste året. Årets priser ligger mellom disse, avhengig av N-kilden som brukes.

Tabell 6.9. Beregnede effekter av endringer i dagens anbefalte N-gjødslingsnormer til korn (basert på middelavlinger oppnådd på landsbasis) på avlingstap, sparing i gjødselkostnader ved ulike prisnivå (kr. 22/11) og nettotap (verdi av avlingstap minus spart gjødselkostnad)

	N-gj. kg/daa	Avlingstap kg/daa	Sparing (kr/daa) kr. 22 kr. 11	Nettotap (kr/daa) kr. 22 kr. 11
BYGG				
Minus 10 %	8.2	11.4	22.9 20.0	10.0 2.9
Minus 15 %	7.7	17.6	35.3 29.9	15.0 5.4
Minus 20 %	7.3	24.3	48.8 40.0	20.0 8.7
HAVRE				
Minus 10 %	6.9	11.0	20.4 16.9	8.5 3.5

Minus 15 %	6.6	17.1	31.6	25.3	12.6	6.3	18.9
Minus 20 %	6.2	23.6	43.6	33.9	16.9	9.7	26.6
VÅRHVETE							
Minus 10 %	10.2	10.5	24.6	24.9	12.4	-0.26	12.2
Minus 15 %	9.6	16.7	39.3	37.2	18.6	2.09	20.7
Minus 20 %	9.0	23.7	55.6	49.7	24.9	5.93	30.8
HØSTHVETE							
Minus 10 %	10.9	10.4	24.4	26.6	13.3	-2.18	11.1
Minus 15 %	10.3	16.8	39.6	39.8	19.9	-0.26	19.6
Minus 20 %	9.7	24.1	56.6	53.2	26.6	3.35	30.0

Tabell 6.9 viser at det ved lav gjødselpris vil tapes ca. 11-13 kr/daa hvis normene reduseres med 10 %, stigende til 27-30 kr/daa hvis de reduseres med 20 %. Ved høy gjødselpris er nettotapet mye lavere, mindre enn kr 10/daa ved 20 % reduksjon i normene. Størst usikkerhet knytter seg til høsthvete. Disse beregningene er gjort med en fellesligning for alle kornarter. Bruk av individuelle ligninger for hver enkelt kornart gav omtrent samme resultat for vårkorn, men viste et større verditap for høsthvete hvis normen reduseres. Den norske normgjødsling for denne veksten er likevel i nærheten av det som nylig ble funnet å være optimalt i svenske forsøk. Nettotapet i avlingsverdi per kg N spart ved redusert gjødslingsnorm ligger i området 5-10 kr/kg, når man tar utgangspunkt i en middels gjødselpris (kr 16,5 /kg N).

En reduksjon i gjødslingsnormene reduserer mengden av nitrogen som tilføres jorda, men det vil samtidig redusere mengden av nitrogen som tas opp i kornet, som igjen fjernes fra feltet. Vi har brukt det samme forsøksmaterialet som ovenfor, for å beregne hvor stor endringen i N-opptaket kan forventes å være (tabell 6.10). Tabellen viser også ”nettogevinstene”, i form av redusert N-mengde i jorda, som en reduksjon av N-normene vil medføre.

Tabell 6.10. Beregnete effekter av endringer i dagens anbefalte N-gjødslingsnormer til korn på reduksjon av N-opptaket i korn og på ”nettogevinst” i form av redusert N-mengde i jorda

	N-gjødsel	Sparing i N-gjødsel	N-opptak i kornet	Redusert N-opptak	'Nettogevinst'
BYGG					
Minus 10 %	8.19	0.91	5.16	0.37	0.54
Minus 15 %	7.74	1.37	4.97	0.56	0.80
Minus 20 %	7.28	1.82	4.76	0.76	1.06
HAVRE					
Minus 10 %	6.93	0.77	4.62	0.33	0.44
Minus 15 %	6.55	1.16	4.45	0.49	0.66
Minus 20 %	6.16	1.54	4.28	0.67	0.87
VÅRHVETE					
Minus 10 %	10.17	1.13	8.10	0.43	0.70
Minus 15 %	9.61	1.70	7.86	0.67	1.03
Minus 20 %	9.04	2.26	7.60	0.93	1.33
HØSTHVETE					
Minus 10 %	10.89	1.21	7.48	0.72	0.49
Minus 15 %	10.29	1.82	7.09	1.11	0.71
Minus 20 %	9.68	2.42	6.68	1.52	0.90

Resultatene viser at uansett hvor mye normene reduseres vil N-opptaket også endres med en mengde som er nesten halvparten (ca. 40 % for vårkornartene og 60 % for høsthvete). Dermed blir det betydelig mindre ”nettogevinst” i form av N-mengden som blir igjen i jorda, og som kan tapes via utvasking eller denitrifisering.

6.6 Kostnader ved redusert bruk av mineralgjødning i åker

Tiltak som settes inn for å kontrollere at gjødslingsplanen bygger på mer realistiske avlingstall og at gjødslingsplanen blir fulgt i praksis, vil kunne utføres som et ledd i den etablerte kontrollen av produksjonstilskudd. For myndighetene vil tiltakene medføre noe ekstra tidsbruk, men dette vil sannsynligvis ikke medføre vesentlige kostnader. Et eventuelt krav om næringsstoffregnskap vil medføre merkostnader for det enkelte foretak, men dette vil sannsynligvis ikke medføre vesentlige kostnader.

Bruk av mer realistiske avlingstall og det å følge gjødslingsplan er tiltak som antas å være bedriftsøkonomisk lønnsomme og vil derfor ikke medføre kostnader for foretakene. For å utløse denne effekten vil informasjon og rådgivning være de mest aktuelle tiltakene. Videre kan forskning være nødvendig for å få bedre grunnlag for informasjon og rådgivning.

Det er anslått kostnader til informasjonskampanjer og til utvikling av systemer for gjødslingsplanlegging (eventuelt inkludert næringsstoffregnskap) til en investeringskostnad på 3 mill. kroner. Disse tiltakene vil sannsynligvis måtte gjentas og videreutvikles etter noen få år. Årlig kapitalkostnad er derfor anslått til kr 1 mill. per år. Årlige driftskostnader er anslått til 1 mill. kroner. Sparte kostnader til mineralgjødning beløper seg til 37 mill. Forutsetningene for dette er at det spares 1 kg nitrogen per dekar på 3,1 mill. dekar og at prisen per kg N er 12 kr. Samlet for tiltak 4 og med disse forutsetningene blir det en innsparing på 35 mill. kroner.

Ytterligere redusert gjødning med 10 % på alt kornareal vil innebære betydelige økonomiske konsekvenser for foretakene. Verdi av redusert avling (3 % avlingsnedgang) er beregnet til 70 mill. per år. Forutsetningene for dette er en gjennomsnittlig avling på 380 kg korn per dekar og et kornareal på 3,1 mill. dekar. Det er brukt en kornpris på 2 kr per kg som tilsvarer verdensmarkedspris på matkorn (CIF-importpris) jf. Statens landbruksforvaltning (2009). Redusert avling medfører sparte kostnader, til transport, tørking osv. Dette er skjønsmessig vurdert til 4 mill. kroner årlig. Verdien av redusert gjødning er beregnet til 37 mill. kroner. Det er lagt til grunn redusert gjødning på 1 kg N til en pris på 12 kr per kg N. Videre vil pålagte innskrenkninger i gjødning bruk medfører administrative kostnader knyttet til å håndheve en slik regulering. Dette vil måtte gjelde for alle vekster, ikke bare korn, og dette vil derfor være felles kostnader. Det er antatt at investeringskostnaden i forbindelse med etablering av nødvendige bestemmelser (lov, forskrifter m.m) og kontrollsystem for tiltak 10 og 11 til sammen vil være i størrelsesorden 6 mill. kr. Hvis det skal etableres system for rapportering av gjødselomsetning vil dette trolig måtte revideres og videreutvikles etter relativt kort tid. Årlige kapitalkostnader er derfor satt til 3 mill. kr. Årlige driftskostnader er satt til kr 1 mill. Alle disse tallene gjelder samlet for tiltak 10 og 11. Hvis en legger til grunn at 1 mill. kr av de årlige kostnadene plasseres på tiltak 10, vil tiltak 10 medføre kr 70 mill. i tapt avlingsverdi, kr 37 mill. i sparte gjødselkostnader og kr 4 mill. i sparte andre kostnader, slik at samlet årlig kostnad blir 30 mill. kroner.

7. Nitrogengjødsling eng

Mange av faktorene som er drøftet for åkervekster vil også ha relevans for eng- og beitevekster. Noen viktige forskjeller finnes, og med betydning for potensielle tap av lystgass. Gras utnytter vekstsesongen godt med tidlig vekststart og vekst utover høsten. Et godt etablert rotsystem gir effektivt næringsopptak, men røtter i åkervekster kan gå dypere ned enn i gras. Gras fører til økt karbonlagring i jord sammenlignet med åkervekster gjennom økte utsondringer fra røtter og øvrig tilførsel av planterester. Det vil etableres likevekter mellom oppbygging og nedbryting av organisk materiale over tid, avhengig av driftspraksis.

Gras dyrkes ofte i områder som ikke er særlig egnet til kornproduksjon. Produksjonsgrunnlaget er gjerne påvirket av større nedbørmengder, som på Vestlandet, eller kort vekstsesong, som i dal- og fjellområdene og Nord-Norge. Jordforholdene kan også være spesielle, med innslag av myrjord eller jordtyper/forhold som kan gi redusert verdi som kornareal. Lystgassproduksjon kan potensielt bli betydelig på slike grasarealer, der en del betingelser vil være til stede, som periodevis anaerobe forhold og rikelig energi i omsettelig organisk karbon. Grasarealer kan også bli gjødslet med relativt store N-mengder, og da kan nitrat periodevis være tilstede i høye konsentrasjoner. Lange vintre påvirket av frost, tining og snødekke representerer risiko for lystgass tap, særlig på våren.

Grasarealer påvirkes naturlig av husdyrgjødselbruk og beitemønster. Bruk av kløver/belgvekster bør også diskuteres som viktige tiltak.

De antatt mest aktuelle tiltakene for å redusere lystgassutslipp i forbindelse med eng- og beitevekster vil bli drøftet her. Kunnskap, informasjon og motivering er viktige tiltak. Utvikling av plattformer for rådgivning vil kunne bety mye. Det kan også gode investeringer i anlegg og teknologi.

7.1 God gjødslingsplanlegging og oppfølging av planer

Obligatorisk gjødslingsplanlegging er innført først og fremst med bakgrunn i et miljøargument. For å sikre at planer blir revidert og retningsgivende for den praktiske gjødslinga er motivasjon hos bonden viktig. Motivasjon kan komme gjennom kunnskap og tro på at planene er viktige og riktige. Informasjon og kunnskapsoppdatering for å skape tillit til planleggingsverktøy blir da avgjørende. Økonomiske virkemiddel for å stimulere til planlegging, gjennomføring og oppfølging kan definitivt motivere, avhengig av rammer og utforming av tiltaket.

I Norge er det ett dominerende system i bruk, bygd på gjødslingsnormer (se 7.6). Systemet har den fordel at det er godt innarbeidet, og er også relativt detaljert beskrevet (Gjødslingshåndboka – www.bioforsk.no). Oppbygging gjennom tabulerte sammenhenger gjør systemet anvendelig også for manuell planlegging, i tillegg til at norm-systemet utgjør en basis for kommersielle pc-baserte dataplanleggingsprogrammer. Norm-systemet er oppbygd slik at det fungerer best rundt gjødslingsnivåer nær opp til det økonomisk optimale. En ulempe med norm-systemet er at innretning på korrigeringer og justeringer ikke er like gode, og heller ikke tenkt brukt, i områder langt fra et slikt økonomisk optimum. Reduksjoner i gjødslingsnivå for å redusere lystgassutslipp i slike størrelser det diskuteres i denne rapporten gjør innretningen/tabuleringer på dagens norm-system noe utdatert. Viktige faktorer med relativt

større effekter på næringsforsyning innen ekstensive systemer er heller ikke godt inkludert. Dette er også bakgrunn for at systemet bygd på normgjødsling er lite brukt i økologiske produksjoner. Derfor er et alternativt system vært under utvikling for dette formålet. Dette nye systemet (arbeidstittel GJØK; Fystro m. fl. 2005) inkluderer også prosesser som er viktige i mer ekstensive driftssammenhenger. Per i dag mangler ressurser for ferdigstilling og testing av et brukervennlig dataprogram. GJØK kan brukes på både eng og åkervekster, men må videreutvikles på grønnsakskulturer.

Relevante gjennomførte forbedringer i GJØK med potensial som en pedagogisk god plattform:

- Estimere avling ut fra tilgjengelig næringsforsyning.
- Tilpasset også ekstensiv næringsforsyning.
- Inkluderer værforhold som drivdata.
- Har egen modell for dynamikk i organisk materiale og frigjøring av plantenæring.
- Estimerer karbonlagring i jord.
- Estimerer tap N (ikke lystgass, men kan utvikles relatert til næringsintensitet).
- Håndterer dynamikk i blandinger av gras og kløver (påvirket av næringsforsyning).
- Kan lett utvikles til å sette opp næringsbalanser på skiftenivå for både N, P, K og S.
- Bør fungere like godt uavhengig av driftssystem (økologisk, konvensjonell etc.), og for både åkervekster og eng.
- Kan simulere virkninger på næringsforsyning og avling, med utgangspunkt i tidspunkt for handlinger som jordarbeiding, gjødsling, såing, høsting og vanning, samt inkluderer estimater for virkning fra fangvekster og grønngjødsling.

Analyser av sammenhenger mellom gjødsling og avling indikerer at det er særlig stort avvik mellom tilrådte mengder og tilførte mengder når avlingsnivåene er lave. Dette kan ha mange årsaker, men GJØK vil kunne identifisere flere viktige faktorer som kan gi slike utslag, og kan slik ha en vesentlig pedagogisk effekt. Selv om lave avlinger ofte gjødsles relativt sett sterkest, så kan de faktiske avlingsresponsene være økonomisk godt rentable selv til høye gjødslingsnivåer. Forklaringen ligger ofte i relativt sett lav utnyttingsgrad på tilført gjødsel generelt. Slike forhold er dokumentert mange steder, og kan ofte knyttes til jordtype, værforhold og spesielle immobiliseringsforhold.

Bruk av husdyrgjødsel og kombinerings med mineralgjødsling bør ha et særlig fokus. Dårlig utnytting av husdyrgjødsel er en hovedårsak til at normal utnyttingsgraden av tilført N i grovførbaserte produksjoner ligger ned mot 20 %, både på nasjonal og global basis. En normal variasjon i N-utnytting på mjølkeproduksjonsbruk er under norske forhold funnet innenfor 15-35 % av tilført N til gården (Flatvad *et al.* 1996). Variasjon kan skyldes forhold som produksjonsgrunnlag, intensitet og flere forhold knyttet til driftspraksis (jordkultur, vekstvalg, gjødslings- og høsteregimer etc.)

Virkemiddel og antatt effekt for 7.1

Informasjon og motivering

Satsing på informasjons- og motiveringstiltak for god gjødslingsplanlegging og rett gjødslingspraksis er trolig av de mest økonomisk effektive virkemiddel. Dette kan ha karakter av årlige satsinger, men også tidvise kampanjer år om annet. Ved å utnytte eksisterende strukturer for landbruksrådgivning ligger mye allerede klart.

Redusert N-forbruk gjennom økt N-effektivitet: 5-10 % økt utnyttingsgrad av N, gir 1-2 kg N mindre tilført i mineralgjødsling per daa på engareal (4,9 mill daa) uten avlingsreduksjon, som gir

4900 - 9800 tonn mindre N-tilførsler i gjødsel og redusert utslipp av lystgass tilsvarende 30 000 - 59 000 tonn CO₂-ekv.

Det antas en tilleggseffekt i form av reduksjon på samlede N-tap, som følge av mindre N-tilførsler. Reduksjonen i N-tap settes lik 18 % av redusert N-gjødsling. Reduserte N-tap vil vesentlig være mindre N-utvasking av nitrat, men også noe mindre ammoniakktap.

Bedre planleggingsverktøy

Videreutvikling av gjødslingsplan-programmer, både gamle og nye systemer.

Redusert N-forbruk gjennom økt N-effektivitet: 5-10 % økt utnyttingsgrad av N, gir 1-2 kg N mindre tilført i mineralgjødsel per daa på engareal (4,9 mill daa) uten avlingsreduksjon, som gir 4900 - 9800 tonn mindre N-tilførsler i gjødsel og redusert utslipp av lystgass tilsvarende 30 000 - 59 000 tonn CO₂-ekv.

Det antas en tilleggseffekt i form av reduksjon på samlede N-tap, som følge av mindre N-tilførsler. Reduksjonen i N-tap settes lik 18 % av redusert N-gjødsling. Reduserte N-tap vil vesentlig være mindre N-utvasking av nitrat, men også noe mindre ammoniakktap.

Næringsbalanse som begrensende for gjødselmengden

Med modell fra "Grønne regnskap" i Danmark kan det etableres et system for begrenning av næringsforsyning ut fra en balanseberegning. Utfordringen kan ligge i å bli enige om et system, men bruk av næringsbalanser vil ha den fordel at den kan fange opp situasjoner med særlige utfordringer knyttet til produksjonsgrunnlaget. Tiltaket vil bygge på at gjødselmengden begrenses ut fra hvor store N-overskudd det tillates på gården. En slik grense for N-overskudd må settes ut fra agronomiske, miljømessige og politiske vurderinger.

Redusert N-forbruk gjennom økt N-effektivitet: 5-10 % økt utnyttingsgrad av N, gir 1-2 kg N mindre tilført i mineralgjødsel per daa på engareal (4,9 mill daa) uten avlingsreduksjon, som gir 4900 - 9800 tonn mindre N-tilførsler i gjødsel og redusert utslipp av lystgass tilsvarende 30 000 - 59 000 tonn CO₂-ekv.

Det antas en tilleggseffekt i form av reduksjon på samlede N-tap, som følge av mindre N-tilførsler. Reduksjonen i N-tap settes lik 18 % av redusert N-gjødsling. Reduserte N-tap vil vesentlig være mindre N-utvasking av nitrat, men også noe mindre ammoniakktap.

Den totale effekten av disse tre tiltakene vil være vanskelig å anslå korrekt. Uavhengig av andre tiltak antas en mulig innsparing på grasarealer på 10-15 % av dagens N-tilførsler gjennom målrettet effektivisering, men en større effekt på redusert lystgass fordi uheldig praksis kan identifiseres og forbedres gjennom målretting av tiltak. Totalt antas da et potensial på 25 % eller mer i reell nedgang i lystgassutslipp. Særlig antas det et betydelig potensial i mer effektiv bruk av husdyrgjødsel, der kombinerings av husdyrgjødsel og mineralgjødsel står frem som et særlig satsingsområde.

7.2 Etablere kontrollrutiner

Det vises her til åker-vekster der dette blir drøftet. Effektiv kontroll på produksjoner som inkluderer engvekster er utordrende. Regnskap- og produksjonstal vil være tilgjengelig, men ut over dette er det vanskelig å kontrollere viktige valg og handlinger for den daglige drift ned på

skiftenivå. Store poster som avling, husdyrgjødselbruk, kløver kan i liten grad effektivt kontrolleres, og blir avhengig av tillit, usikker informasjon og grad av kunnskap.

Utvikling av et tiltak basert på kontroll for målrettet reduksjon av lystgass kan ha noe for seg, men bør ses i sammenheng med iverksetting av samlet innsats.

7.3 Sikre gode vurderinger av avlingsrespons på gjødsling

Forventa avling er et viktig utgangspunkt for planlegging av gjødsling. Samtidig viser det seg at dette er vanskelig, og dårlige avlingsanslag er kanskje den største enkeltfaktoren til feilgjødsling. Dette tiltaket skal sikre gode vurderinger av sammenhengen mellom gjødsling og avling også ved ekstensive systemer. I tillegg til å ha en modell for sammenhengen mellom N-gjødsling og avling, er dette viktig kunnskap for å kunne balansere gjødsling med ulike næringsstoff riktig. Norm-systemet som brukes i gjødslingsplanlegging i dag er ikke tenkt brukt slik, og er tilpasset normal gjødsling rundt økonomisk optimale nivå.

Avlingsestimater for eng- og beitevekster er heftet med større usikkerhet enn for mange andre vekstgrupper. Antall rundballer eller silolass er ikke alltid lett konverterbart til faktiske avlingsnivå. Under punkt 7.1 er det redegjort for et system (Gjøk) som snur dagens system motsatt vei. I stedet for å finne gjødslinga til et avlingsnivå man forventer, så kan man estimere avlinga til den gjødsling og driftsmåte man velger. Særlig for eng- og beitevekster kan dette ha mange fordeler, og kombinert med prediksjoner av miljøvirkning gjennom tap, være fremtidsrettet.

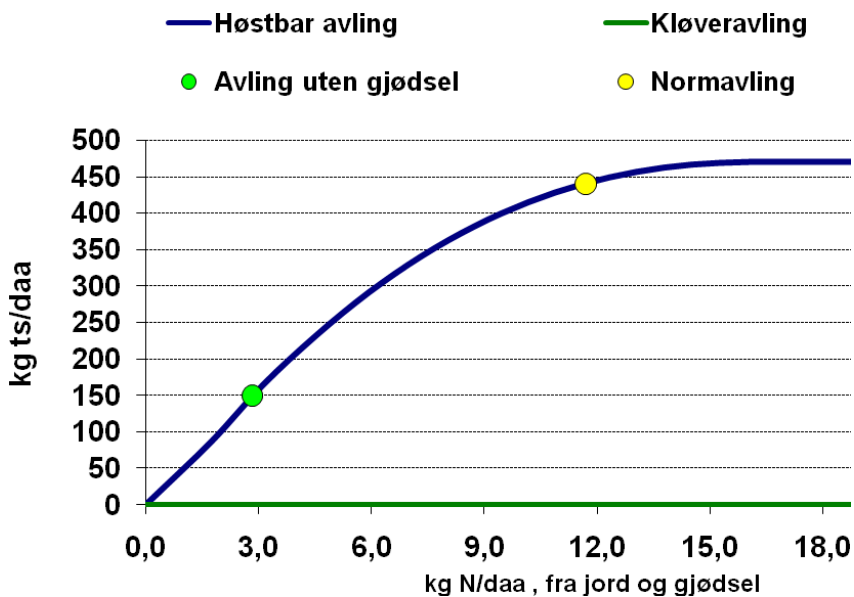
For grasvekster er det en erkjennelse at det kan argumenteres for et økonomisk produksjonsutbytte ved økende gjødslingsnivåer til høye nivåer, og dette ligger nok i de fleste tilfelle over vanlig anbefalte gjødslingsmengder. En utfordring er at man får responser på avling selv på urimelig sterk gjødsling, som man gjerne finner når større mengder husdyrgjødsel blir brukt i kombinasjon med handelsgjødsel. Dette er situasjoner vi i fremtiden må unngå, men som er utfordrende på virkemiddelsiden. Det vil være behov for mye sterkere ordninger enn dagens, og også reaksjonsmåter som merkes når det trengs.

Grasvekster har den fordel at det normalt er flere naturlige gjødslinger gjennom veksts sesongen, det vil si delgjødsling til høstinger/avbeiting. Dette bør kunne utnyttes sterkere enn i dag ved en bevisstgjøring rundt potensialet for korrigerende av samlet gjødslingsnivå. Utover veksts sesongen vil man få reelle avlinger, kjente værforhold, bedre anslag for husdyrgjødsleffekter med mer.

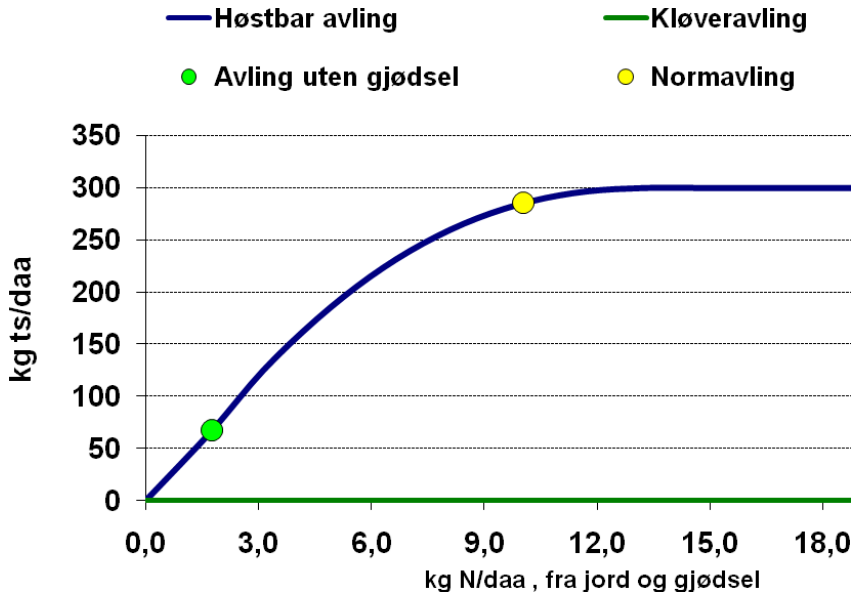
Som redegjort for (se 7.6) er det for grasvekster etablert et system for gjødslingsråd til normal og intensiv drift. Ut over det mest ekstensive av disse nivåene kan det argumenteres for en ytterligere redusert gjødsling, og da med større virkning på redusert avling av tørrstoff og protein.

For å se nærmere på slike sammenhenger er GJØK (se 7.1) brukt til å synliggjøre viktige sammenhenger. Figur 1 og 2 viser responskurver på tørrstoffavling av N gjødsling til en typisk første og andre engslått. Sammenhengen fremkommer av kalibreringer i dagens GJØK-modell (testversjon), og bygger på en ”normal” utnyttingsgrad i form av planteopptak av N-gjødsel (litt under 70 % og fallende ved økte mengder) og en prekalibrert avlingsrespons på N-tilgang.

Norm-begrepet er ikke brukt i GJØK, men et sannsynlig nivå er indikert i figurer (5-7 % under maksimale gjennomsnittsavlinger). Et normalt N-opptak i planter uten gjødsling er også avmerket i figurer. Avlingene i gjødslingsåret vil følge responskurven for gjødsling.



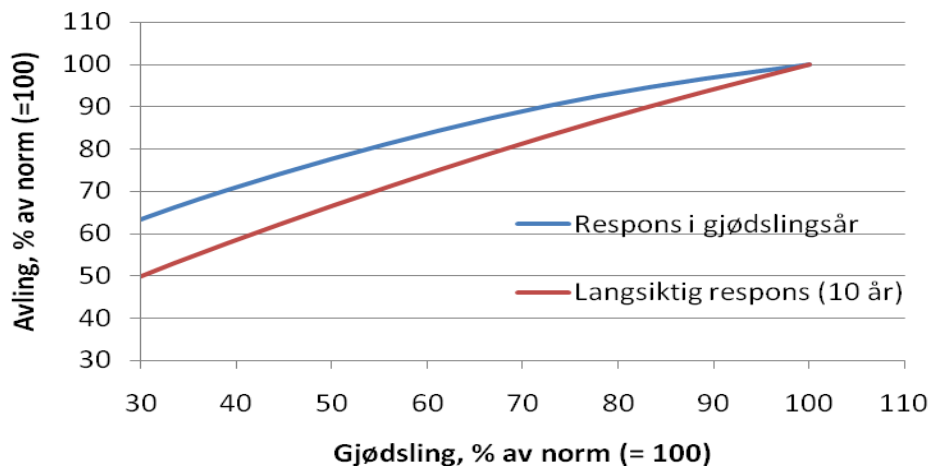
Figur 7.1 Avlingsrespons for en normal første slått, gitt betingelser med virkning på N-utnyttning og produksjonsgrunnlag. Normavling og avling (tørrstoff) uten gjødsel er indikert.



Figur 7.2 Avlingsrespons for en normal andre slått, gitt betingelser med virkning på N-utnyttning og produksjonsgrunnlag. Normavling og avling (tørrstoff) uten gjødsel er indikert.

Et estimat på avlingsresponser er vist i figur 7.3 for gjødslingsåret og for en langsiktig virkning etter 10 år, der samme gjødsling repeteres hvert år. Et høyt gjødslingsnivå over tid gir forhold for høye avlinger uten gjødsel. Når gjødslingen reduseres over tid avtar nullavlingene (uten gjødsel). Denne responsen ligger inne i GJØK-estimatene for langsiktig virkning etter eksempelvis 10 år.

En reduksjon i N gjødsling i intervallet 0-30 % repetert over 10 år vil med gjeldende forutsetninger redusere tørrstoffavling nær lineært med en faktor på 0,6 av gjødslingsendring i %, dvs. en avlingsreduksjon i intervallet 0-18 %. Som eksempel antas da at 10 % redusert gjødsling gir 6 % avlingsreduksjon (+/- 50% antatt feilmargin)



Figur 7.3. Respons på eng-avling (tørrstoff) i gjødslingsåret og etter repetert gjødsling med reduserte gjødslingsnivå over lengre tid (10 år), gitt betingelser med virkning på N-utnyttning og produksjonsgrunnlag.

Kløver er en aktuell vekst i mange norske grasmarker, og som på sin spesielle måte virker inn på avlingsrespons på gjødsling. Dette forholdet blir drøftet i eget kapittel (se 7.5).

Virkemiddel og antatt effekt for 7.3

Tiltak som retter seg mot god driftsvalg og gjødslingspraksis er omtalt eget sted (se 7.1), som for eksempel sterkere gjødsling enn tilrådd eller feilgjødsling med ubalanse mellom næringsstoff. Fokuset her er på virkemiddel som reduserer gjødsling utover nivåer som ligger i gjeldende tilrådinger, og som må påregnes å redusere økonomisk utbytte, forutsatt alt ellers uendret.

Økologisk landbruk

Informasjon og vektlegging av miljøaspektet kan ha effekt i retning redusert gjødsling. Særlig kan merkevarebygging med miljøfokus ha betydning. I den sammenhengen vil mål og støtteordninger for omlegging til økologisk jordbruk være en faktor. En videreføring av målet om 15 % økologisk produksjon vil redusere utslipp av lystgass. Dersom ytterligere 10 %-enheter av grovførbasert konvensjonelt drevet jord blir lagt om til økologisk drift (6,5 mill daa, inkludert beiter) vil dette anslagsvis redusere grovførbasert produsert norsk mat med 2 % (80-85% av konvensjonelt avlingsnivå). Biologisk N-fiksering gjennom belgvekster vil være en hovedkilde til N-forsyning i økologiske system (se 7.5), sammen med husdyrgjødsel og noe import. Antatt redusert N-tilførsel (biologisk N-fiksering inkludert) på slike areal kan i middel være 6 (+/- 2) kg N per daa, som gir 3900 tonn redusert N-bruk (= samlet nær 4-5 % redusert N-forbruk av handelsgjødsel til grasareal).

Kostnad ved å øke andel økologisk drevet areal med 10 %-enheter:

Videreføring av dagens ordninger for stimulering av økologisk drift. Trolig nødvendig å øke nivået for å nå mål om 15%, selv i 2020.

Grovførbasert produsert norsk mat reduseres med 2 %. Netto kostnad for tiltaket er svært usikkert, og settes til 10 mill kr årlig.

Netto redusert N-tilførsel (gjødning-N – biologisk N-fiksering) tilsvarende 3900 tonn N, som gir redusert utslipp av lystgass tilsvarende 24 000 tonn CO₂-ekv.

Det antas en tilleggseffekt av redusert N-forbruk på samlede N-tap, som settes lik 18 % av redusert N-gjødsling. Reduserte tap vil komme gjennom mindre N-utvasking av nitrat og reduserte ammoniakktap.

I tillegg kommer en betydelig gevinst på redusert lystgassutslipp ved at biologisk N-fiksering og bruk av kløver bytter ut innkjøpt mineralgjødning. Beregnet med gjeldende ICCP-metode blir ikke dette godtgjort fordi disse to kildene settes lik hverandre i virkning på lystgassutslipp. Denne faktoren anses likevel så viktig at det behandles som eget tiltak (se 7.5)

Redusert gjødning

Redusert gjødning i konvensjonell drift fra normgjødning (= 100 %) og til 70 % av slikt nivå antas over tid å redusere avling i dette intervallet lineært med en andel på 0,6 i forhold til redusert N-gjødsling i % (= 6 % redusert avlingsnivå ved 10 % redusert gjødning, 12 % redusert avlingsnivå ved 20 % redusert gjødning). Normgjødning i denne sammenhengen vil være et nivå på linje med dagens praktiserte nivå, som antas å ligge midt mellom normal og intensiv drift (se 7.6).

En slik reduksjon i gjødning er utfordrende fordi det har direkte virkning på produksjonsøkonomi. Pris på gjødning virker, som gjødselavgift, men må kombineres med informasjon og god rådgiving for å bli treffsikkert. Gjødselprisen er for tiden svært volatil, og bør ses i sammenheng med et avgiftsnivå, der total gjødselpris trolig må ligge vesentlig over topp-prisene siste året. Avgiftene bør brukes positivt for å stimulere miljøriktig jordbruksdrift. Etter dansk modell kan et kvotesystem være aktuelt, der det gis en konsesjon på gjødning til et gitt nivå i forhold til maksimal avling.

Tiltaket antas å ha relevant effekt på maksimalt halvparten av norsk engareal, fordi mye areal allerede er ekstensivt drevet. Problematikk rundt husdyrgjødsel er likevel spesiell (se 7.4 og kapittel 5. Husdyrgjødselhåndtering).

Kostnader ved tiltaket vil være knyttet til administrering av ordning, implementering av regelverk og informasjon. Slike kostnader usikre, men det antas at disse er små sammenlignet med nettoverdi på produksjonstap som følge av tiltaket.

6 % redusert avlingsnivå (= 45 kg høy per daa) ved 10 % redusert gjødning (1,75 kg N per daa) på 2,5 mill daa eng:

- Produksjonstap (se 7.7)
- For N-gjødsling redusert med 10 % (4400 tonn N) beregnes en lystgassreduksjon på 27 000 tonn CO₂-ekv.

12 % redusert avlingsnivå (= 90 kg høy per daa) ved 20 % redusert gjødning (3,50 kg N per daa) på 2,5 daa eng:

- Produksjonstap (se 7.7)
- For N-gjødsling redusert med 20 % (8800 tonn N) beregnes en lystgassreduksjon på 53 000 tonn CO₂-ekv.

18 % redusert avlingsnivå (= 90 kg høy per daa) ved 30 % redusert gjødning (5,25 kg N per daa) på 2,5 daa eng:

- Produksjonstap (se 7.7)

- For N-gjødsling redusert med 30 % (13000 tonn N) beregnes en lystgassreduksjon på 80 000 tonn CO₂-ekv.

På alle gjødslingsnivå kan det antas en tilleggseffekt av redusert N-forbruk på samlede N-tap, som settes lik 18 % av redusert N-gjødsling. Reduserte tap vil komme gjennom mindre N-utvasking av nitrat og reduserte ammoniakktap.

7.4 God utnytting av husdyrgjødsel

Potensialer knyttet til spredeteknikk, husdyrgjødsellager og vanninnblanding er omtalt i eget kapittel (se kap. 5). I dette avsnittet er det fokus på vurderinger av storfegjødsels næringsvirkning generelt og kombinerings med andre næringskilder spesielt.

Husdyrgjødsel fra storfe har et innhold på nær 4 kg N per tonn i gjødsel korrigert til ca 8 % tørrstoff. Et anslag på mengde oppsamla storfegjødsel til lager er knapt 10 mill tonn. Det blir nært 1 tonn eller 4 kg N per daa fordelt på all dyrkingsjord i Norge. I tillegg kommer andre dyreslag (grovt anslag er 25-30 % mer N) og tilført gjødsel på beite (anslag på 25 % mer N). Fordi husdyr er konsentrert i enkelte områder vil mye areal i middel over tid bli tilført ca 2-2.5 tonn per daa (8-10 kg total N per daa). En god del areal blir også tilført vesentlig større mengder, men spredekravet (fosfor-utgangspunkt) setter begrensninger. Transportavstander og egnethet på arealer gjør at det innenfor gårdsenheter kan bli store skjjevheter på spredemengder til ulike skifter.

Et effektivt tiltak for økt N-utnytting vil være å redusere mengdene av husdyrgjødsel på de areal som får mest. En del vil helt klart kunne oppnås gjennom informasjon og motivering, men det vil være aktuelt å kombinere med tiltak som skjerper spredekravet (f. eks. legge vekt på N i tillegg til P).

Tilført husdyrgjødsel kombineres i stor grad med innkjøpt mineralgjødsel. Balanseberegninger viser at en normal praksis ved slik kombinerings ofte fører til et større N-overskudd over tid. Noe av dette er i praksis vanskelig å unngå på grunn av nærmest uunngåelige tap fra husdyrgjødsel arealer, enten direkte som ammoniakktap eller som tap utenom vekstsesonger. Men det er potensialer for å redusere de store N-overskuddene (tapspotensialer) gjennom ulike målrettede tiltak for endringer av praksis, som generelle tiltak mot mengde, tidspunkt, spredeteknikker, bruk av vann og spredetforhold. Rådgivningen har et forbedringspotensial i å vektlegge ettervirkninger av husdyrgjødsel, der økt N-tilgang etter tilført husdyrgjødsel over mange år ikke blir tilstrekkelig tatt inn. Det må særlig legges vekt på å kombinere husdyrgjødsel og innkjøpt mineralgjødsel på effektiv måte, i alle sammenhenger. I korte trekk vil det være et potensial for å redusere innkjøpt N-mineralgjødsel når denne kombineres med husdyrgjødsel, og uten at vesentlig tap av i produsert avling oppstår.

Virkemiddel og antatt effekt for 7.4

Tiltakene her kan i stor grad komme i tillegg til/uavhengig av tiltakene skissert i kap. 5. Til forskjell fra tiltak nevnt under kapitel 5 vil tiltak her ikke kreve vesentlig investeringskostnader. Bedre N-utnytting i husdyrgjødsel vil også kunne tas ut som redusert innkjøpt N-gjødsel, uten avlingsreduksjoner.

Endring i rådgiving og informasjon generelt

Potensial for bedre utnytting av husdyrgjødsel generelt er vanskelig å anslå, men det antas at ytterligere 5 %-enheter av N-innhold i husdyrgjødsel realistisk kan utnyttes ved vekt på rådgiving og informasjon.

Redusert N-forbruk gjennom økt N-effektivitet:

Et anslag på 5 %-enheter (av 40 mill kg N totalt i oppsamla gjødsel) økt utnyttingsgrad av N i storfe gjødsel vil gi et redusert behov for innkjøpt mineralgjødsel på rundt 1500 tonn N tilført i mineralgjødsel, som gir redusert utslipp av lystgass tilsvarende 9100 tonn CO₂-ekv. Inkludering av alle husdyrgjødselslag kan øke dette med anslagsvis 20 %, men med stor usikkerhet.

Det antas en tilleggseffekt av redusert N-forbruk på samlede N-tap, som settes lik 18 % av redusert N-gjødsling (1500 tonn N*0,18 = 270 tonn N). Reduserte tap vil komme gjennom mindre N-utvasking av nitrat og reduserte ammoniakktap.

Strengere krav til spredeareal eller tiltak med tilsvarende virkning

En ytterligere skjerping i krav til spredeareal (kan for eksempel ta N inn beregningene, P er vektlagt i dag) vil redusere en del tilførsler av store mengder per daa. Tilsvarende effekter kan man få ved å innføre gjødsling etter spesifiserte krav til næringsbalanse (N-balanseberegninger – Grønne marker i Danmark).

I tillegg til virkninger gitt i forrige tiltak under ”Endring i rådgiving og informasjon generelt” kan tiltak som strengere krav til spredeareal eller innføring av gjødsling etter N-balanseberegninger på i samme størrelsesorden som i forrige punkt, dvs. reduksjon på anslagsvis 10 000 tonn CO₂-ekv. Med relativt stor usikkerhet kan en slik reduksjon knyttes til 20 % innskjerping av dagens spredearealkrav, som vil få betydning for produksjonsstrukturer i landbruket for de mest husdyrtette områder.

Det antas en tilleggseffekt av redusert N-forbruk på samlede N-tap, som settes lik 18 % av redusert N-gjødsling. Reduserte tap på anslagsvis 300 tonn N vil komme gjennom mindre N-utvasking av nitrat og reduserte ammoniakktap.

7.5 Mer bruk av kløver

Slik den gjeldende ICCP-metoden beregner lystgassemissjon (1,25 % av all N-tilførsel uansett kilde) vil det ikke ha betydning om N kommer fra mineralgjødsel eller biologisk N-fiksering. Slik sett er ikke dette kapitlet relevant som prioritert tiltak. Årsaken til at det tas med her er at N-kilden reelt sett trolig har stor betydning for totale lystgassutslipp

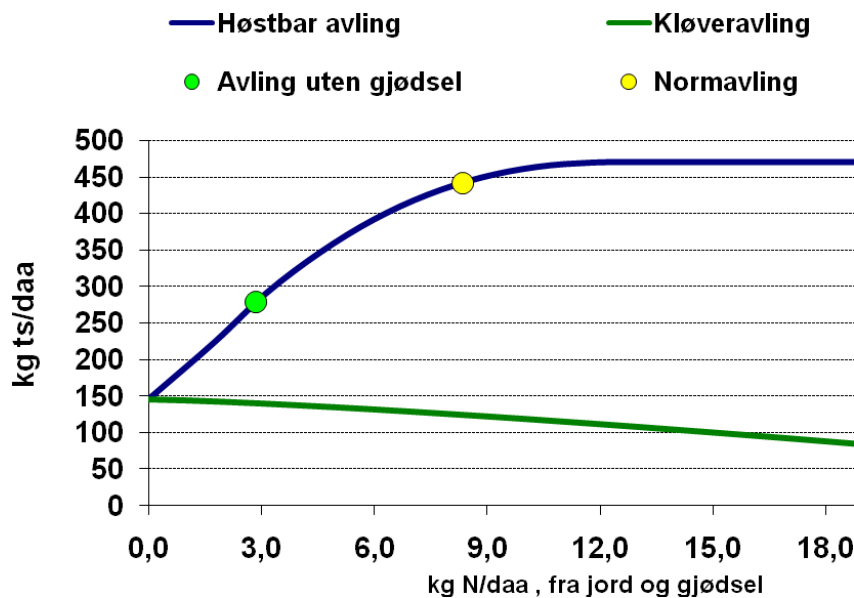
Bruk av kløver og andre belgvekster vil potensielt spare innkjøp av mineralgjødsel. Biologisk N-fiksering på mellom 5 og 15 kg N per daa er normalt i norske eng-systemer der kløver står bra. Ved biologisk fiksering av N og inkorporering til aminosyrer/protein i plantemasse er det ikke dokumentert vesentlige lystgassutslipp. Sammenlignet med bruk av mineralgjødsel vil det meste av lystgass tapene være oppstått fram til planteopptaket foregår.

Det vil i svakt/moderat gjødsel kløverenger være få perioder med høye nitratkonsentrasjoner som potensielt er forbundet med risiko for lystgassemissjon.

Tapsposter knyttet til omsetning av kløverrester vil være som for andre planterester, men kanskje noe høyere risiko her fordi kløver kan ha relativt høyt N-innhold, og kan ha rask omsetning.

Kløver har en ulempe ved at den er utsatt for utgang over vinteren, og vil da føre til større risiko for avlingsvariasjoner mellom år.

Figur 7.4 viser et eksempel på avlingskurve i en kløvereng. Figuren er laget med GJØK (se 7.3), og for samme forutsetninger som i Figur 1, med den forskjell at 30 % kløver er lagt inn ved normavling. Det fremgår en langt svakere avlingsrespons på gjødsling med kløver enn uten, og ugjødsla avling er vesentlig høyere. Det går også fram at kløver reagerer negativt på økende N-mengder i gjødsel.



Figur 7.4. Avlingsrespons for en normal første slått med 30 % kløver ved gjødsling på nivå for normavling, gitt betingelser med virkning på N-fiksering, N-utnyttning og produksjonsgrunnlag. Normavling og avling (tørrestoff) uten gjødsel er indikert.

Virkemiddel og antatt effekt for 7.7

Økt bruk av kløver som tiltak for redusert lystgasseemisjon vil være effektivt. Tiltaket vil også være svært kostnadseffektivt. Kløver brukes på en god del areal allerede, og en del marginale områder er mindre aktuelle (klimatisk og jordforhold). Alternativ beregning av virkning på lystgassutslipp av biologisk N-fiksering må gjennomføres for å synliggjøre denne effekten.

Antatt årlig kostnad over tid på 3-5 mill.

Redusert N-forbruk av innkjøpt N-gjødsel som blir erstattet med biologisk N-fiksering: 6 kg N mindre tilført i mineralgjødsel per daa på engareal (1 mill daa) uten avlingsreduksjon, som gir 6000 tonn mindre N-tilførsler i gjødsel og redusert utslipp av lystgass tilsvarende 37 000 tonn CO₂-ekv.

7.6 Endring i normene

Normalt gjødslingsbehov for en type vekst ved ett sett av gitte betingelser kalles gjødslingsnorm. Norm-begrepet er innarbeidet uten at det har fått en helt klar entydig definisjon, men er knyttet opp mot erfart avling over tid, både i praksis og feltforsøk, og med optimalt økonomisk resultat som viktig del av målsettingen. En målkonflikt vil kunne ligge i ønske om økonomisk resultat og ønske om bærekraftig drift (miljøpåvirkning).

Det grunnleggende her er et spørsmål om en sterkere vektlegging av miljøfaktoren, som da må endre en forståelse av selve norm-begrepet. Det er viktig å skille mellom forventet avling og normavling, som er to relativt vidt adskilte begreper.

For eng- og beitevekster er det etablert et relativt komplekst system for gjødslingsnormer sammenlignet med andre vekstgrupper. I denne sammenhengen er det naturlig å vise til eksisterende oppdeling i intensiv og normal drift (www.bioforsk.no). Andre vekstgrupper enn de grasbaserte har ikke denne oppdelingen. Faktorer som lavere krav til proteininnhold i fôret og lavere totalt fôrbehov/bedre arealgrunnlag ved normal enn ved intensiv drift har vært argumentene for en slik deling.

Eksempel:

To gjødslinger til to slåtter på Vestlandet (del av 1 av 4 tabulerte regioner):

Intensiv drift: 600 FEm (706 kg TS ved 0.85 kg FEm/kg TS) med gjødslingsnorm 19 kg N

Normal drift: 500 FEm (588 kg TS ved 0.85 kg FEm/kg TS) med gjødslingsnorm 15 kg N

Det vil si:

Det eksisterer i dag to valg der ”normal drift” tilfører 21% mindre N enn ”intensive drift” med en forskjell på ca 120 kg tørrstoff per daa i avling. (ulikt mellom regioner og ulike driftsystemer – slåtter/beiteregime).

Begge nivåene er i praktisk bruk ved gjødslingsplanlegging, men vi har ikke oppgave over hvordan det fordeler seg. Vi antar at det kan være en ca 50/50 fordeling mellom de to intensitetsnivåene, og vi vet at det er distriktsvise forskjeller i gjødslings-”kultur”.

Dette tiltaket er tatt med her fordi det allerede eksisterer som et mulig valg. Men som tidligere nevnt er det en utfordring at det kan oppnås et positivt økonomisk utbytte også ved gjødslingsnivåer utover normnivå, og dette gjelder selv for det intensive valget.

Viser til kapittel 7.3 for drøfting av sammenhengen mellom redusert N-gjødsling (0 til 30 %) og virkning på tørrstoffavling.

Virkemiddel og antatt effekt for 7.6

Tiltaket vil være å fjerne den intensive gjødslingsnormen. Problematikk rundt økonomisk tap er tidligere drøftet (se 7.3).

Tiltaket vi gi:

Om lag 12 % redusert avlingsnivå (= 90 kg høy per daa, litt mindre enn tabulert i normene) ved ved 20 % redusert gjødsling (3,50 kg N per daa) på 2,5 daa eng:

- Produksjonstap (se 7.7)
- For N-gjødsling redusert med 20 % (8800 tonn N) beregnes en lystgassreduksjon på 53 000 tonn CO₂-ekv.

Det kan antas en tilleggseffekt av redusert N-forbruk på samlede N-tap, som settes lik 18 % av redusert N-gjødsling. Reduserte tap (1600 tonn N) vil komme gjennom mindre N-utvasking av nitrat og reduserte ammoniakktap.

7.7 Kostnader ved redusert bruk av mineralgjødsel i eng

Tiltak som settes inn for å kontrollere at gjødslingsplanen bygger på mer realistiske avlingstall og at gjødslingsplanen blir fulgt i praksis, vil kunne utføres som et ledd i den etablerte kontrollen av produksjonstilskudd. For myndighetene vil tiltakene medføre noe ekstra tidsbruk, men dette vil sannsynligvis ikke medføre vesentlige kostnader. Et eventuelt krav om næringsstoffregnskap vil medføre merkostnader for det enkelte foretak, men dette vil sannsynligvis ikke medføre vesentlige kostnader.

Bruk av mer realistiske avlingstall og det å følge gjødslingsplan er tiltak som antas å være bedriftsøkonomisk lønnsomme og vil derfor ikke medføre kostnader for foretakene. For å utløse denne effekten vil informasjon og rådgivning være de mest aktuelle tiltakene. Videre kan forskning være nødvendig for å få bedre grunnlag for informasjon og rådgivning.

Det er anslått kostnader til informasjonskampanjer og til utvikling av systemer for gjødslingsplanlegging (eventuelt inkludert næringsstoffregnskap) til en investeringskostnad på 4 mill. kroner. Disse tiltakene vil sannsynligvis måtte gjentas og videreutvikles etter noen få år. Årlig kapitalkostnad er derfor anslått til kr 2 mill. per år. Årlige driftskostnader er anslått til 1 mill. kroner. Sparte kostnader til mineralgjødsel beløper seg til 72 mill. kroner. Forutsetningene for dette er at det spares 1,25 kg nitrogen per dekar på alt engareal (4,8 mill. dekar) og at prisen per kg N er 12 kr. Samlet innsparing for tiltak 5 og med disse forutsetningene vil da bli 69 mill. kroner.

Ytterligere redusert gjødsling på rundt halvparten av engarealet (10 % på 2,5 mill. dekar eng) vil innebære betydelige økonomiske konsekvenser for foretakene. Verdi av redusert avling (6 % avlingsnedgang) er beregnet til 92 mill. per år. Forutsetningene for dette er en gjennomsnittlig avling på 475 FEm per dekar, 2,5 mill. dekar eng og kr 1,30 per FEm (ut fra en importpris for fôrkorn på 1,30 kr per kg og at 1 FEm er tilnærmet lik 1 kg fôrkorn). Verdien av redusert gjødselbruk er beregnet til 52 mill. kroner. Det er lagt til grunn redusert gjødsling på 1,75 kg N til en pris på 12 kr per kg N. Videre vil mindre avling gi sparte andre kostnader (transport, konservering osv.) vurdert til 2 mill. kr.

Videre vil pålagte innskrenkninger i gjødselbruk medfører administrative kostnader knyttet til å håndheve en slik regulering. Dette gjelder felles for tiltak 10 og 11 (jf. det som er skrevet under åker/korn). Hvis en legger til grunn at 3 mill. kr av de årlige kostnadene plasseres på tiltak 11, vil tiltak 11 medføre kr 92 mill. i tapt avlingsverdi, kr 52 mill. i sparte gjødselkostnader og kr 2 mill. i andre kostnader, slik at samlet årlig kostnad blir 41 mill. kroner.

8. Tiltakspakker

I dette kapitlet er det satt sammen enkelttiltak beskrevet i tidligere kapitler til to tiltakspakker. Dette er gjort ut fra målsettingen om at en ønsker vurdert tiltak som totalt kan oppfylle gitte mål for i innsparinger av nitrogen (som kan regnes om til lystgass). Tiltakspakkene illustrerer også at det er flere muligheter for å bedre nitrogeneffektivitet i ulike driftssystemer. Det er både tiltak for husdyrgjødseldisponering, tiltak for bedre tilpasset gjødsling og tiltak for å bedre drenering og jordpakking. Det gir muligheter for tilpasning etter driftsforholdene på det enkelte bruk. Det vises til de enkelte kapitler til beskrivelser av tiltakene og nærmere detaljer. NILF har vurdert kostnader og virkemidler, se omtale i kapittel 9. Dette kapitlet gir derfor en skjematisk sammenstilling.

Beregningene er utført med følgende forutsetninger:

Utslipp av klimagasser er regnet ut etter IPCC 1997: $\text{Kg N} \times 1,25 \% = \text{kg lystgass-N}$. $\text{Kg lystgass-N} \times 44/28 = \text{kg lystgass}$. $\text{Kg lystgass} \times 310 = \text{kg CO}_2\text{-ekv}$.

I tillegg har vi tatt hensyn til redusert nitratavrenning. Ett tonn tilført N gir 18 % N-tap i avrenning, tilsvarende 2,5 % lystgass. Det vil si at vi får en tilleggseffekt per tonn N på 7,1 kg lystgass. Vi har ikke regnet på effekten av redusert ammoniakktap på reduksjon i lystgassutslipp. Noen tiltak gir reduksjon i nitratavrenning og andre tiltak gir redusert ammoniakktap, men en kan ikke regne fullt ut begge deler. Vi har valgt å estimere virkningen av nitratavrenning, og fordelt effekten på nitrat og ammoniakk.

Kornarealet er 3,1 mill. dekar og engarealet (fulldyrka) er 4.8 mill. dekar. Vi har forutsatt ingen endring av gjødsling på 1,7 mill. dekar innmarksbeite og overflatedyrka jord, og på 0,5 mill. dekar annen åker. Middels kornavling er satt til 380 kg og middels engavling til 475 Fem per dekar.

Det er valgt å dele inn i to ulike tiltakspakker: En pakke hvor det er satt sammen tiltak som er beregnet gjennomført uten å medføre avlingsnedgang. Dette er tiltak som vil gir kreditt i beregningsmetodene til IPCC. Det er tiltak som vil bedre nitrogenutnyttelsen og dermed kan føre til besparelser i nitrogenbruk. I den andre pakken er det tatt med tiltak for drenering og redusert jordpakking som nå ikke blir kreditert i IPCC samt virkninger av redusert gjødslingsnorm.

Tiltakspakke 1. Tiltak som ikke gir avlingsnedgang

De ulike tiltakene og virkningene på utslipp av lystgass er vist i tabell 8.1 A. De tre første tiltakene gjelder omlegging av spredeteknikk for husdyrgjødsel, bygging av tilleggslager og økt tilsetning av vann i husdyrgjødsel. De valgte nivåene av disse tre tiltakene vil til sammen kunne redusere lystgassutslippet med 125 tonn. Som gjort rede for i kapitlene 6 og 7 om gjødsling til åker og eng er det mange aktuelle tiltak for å redusere behovet for og bruken av gjødsel til ulike vekster. Vi har valgt å fokusere på bedre oppfølging av gjødslingsplanene, som vil kunne gi en reduksjon i N-tilføringen på 2.500-3.500 tonn i korn og 5.000-7.000 tonn i eng. Det kan føre til reduksjon i utslipp av lystgass på 240 tonn.

Økonomiske parametre for tiltakene er vist i tabell 8.1 B. For hele tiltakspakken er kosteffektiviteten kr 548 per tonn CO₂ ekvivalenter. Det dyreste tiltaket er bygging av tilleggslager for husdyrgjødsel som har en kosteffektivitet på kr 9.435 per tonn CO₂. Bedre oppfølging av gjødslingsplanene vil gi en negativ kosteffektivitet, det vil si at en vil spare kostnader.

Tiltakspakke 2. Tiltak som fører til endringer i avlingsnivået

Tiltakene er vist i tabell 8.2 A. I kapittel 4 er det estimert at 5 % alt dyrka areal er for dårlig drenert. Virkningen av å gjennomføre drenering på 40 % av dette arealet er tatt med i tiltakspakken. Det er regnet med at tiltaket vil gi en avlingsøkning på 15 %. I og med at virkningen av bedre drenering og redusert pakking ikke blir gitt kreditt for i følge IPCC, er virkningen på lystgassutslipp satt til null.

I kapittel 4 er det satt opp et eksempel med virkninger av å redusere jordpakkingen på 20 % av all jordbruksjord. I tiltakspakken har vi valgt å forutsette at en reduksjon av jordpakking på alt areal vil gi en anslått avlingsøkning på 5 %. både i åker og i eng (tabell 8.1 A).

Ved å redusere normen for N-gjødsling med 10 % vil gi en anslått avlingsreduksjon på 3 % i korn og 6 % i eng. Reduksjon av gjødslingsnorm med 10 % gir en reduksjon i N-tilførsel på ca 1 kg N per dekar korn og 1,75 kg N per dekar fulldyrka eng. Men for eng har vi regnet med at det allerede blir gjødslet under norm på et stort areal. Vi har valgt å anslå dette arealet til 2.3 mill. dekar, reduksjonen gjelder således 2.5 mill. dekar fulldyrka eng. Totalforbruket av N er ca 162.000 tonn som fordelt på 10 mill. dekar gir det en middels tilførsel på 16 kg N i mineral- og husdyrgjødsel. Reduksjon av N-normen kan gi 200 tonn mindre lystgassutslipp.

Avlingsendringene i pakke 2 tilsvarer ca + 75 mill. FEm, det vil si ca +9.5 FEm per dekar eng og korn.

Kosteffektivitet og andre økonomiske parametre for tiltakspakke 2 er vist i tabell 8.2 B. Redusert gjødslingsnorm vil gi en kosteffektivitet på kr 1.200 per tonn CO₂ ekvivalenter i åker og 1.200 kr per tonn CO₂ i eng.

De to tiltakspakkene illustrerer mulighetene for beregnete reduksjoner. anbefalingene vil være en kombinasjon av pakke 1 og 2. Det er logisk å gjennomføre drenering og tiltak for å redusere jordpakking som optimaliserer dyrkingsteknikken og gir bedre utnyttelse og dermed redusert risiko for lystgasstap, og avrenningstap. Effekten av dette kan vurderes på to måter. Ved bedre drenering kan det gis mindre N for samme avling, som teoretisk kan gi mindre lystgasstap. Det andre alternativet er at bonden gir samme gjødslingsmengde, avlingen øker og nitrogen effektiviteten øker. Det vil det ikke bli gitt kreditt for i dagens utslippsregnskap. Vi har valgt i pakke 2, etter vurderinger med SFT om kreditt for utslipp å anta at bonden ikke reduserer gjødsling, men oppnår høyere avling. Dette vil øke avling (og redusere tap), men krediteres ikke da gjødslingen ikke endres. Som motregnestykke til dette er det i pakke 2 tatt inn effekt av at bonden reduserer gjødsling til under norm. En slik reduksjon vil gi avlingstap, men også reduserte nitrogentilførsler som krediteres mindre risiko for lystgasstap. Ved denne metoden vil de to typer tiltak balanseres mot hverandre. Ved ytterligere reduksjon utover 10 % reduksjon av norm til eks 15 % reduksjon ville dette redusert både avling og tap ytterligere.

Tiltakene må sees i sammenheng med andre politiske målsettinger om målet på matproduksjonen. Agronomisk vil en forbedring av drenering og jordpakking føre til redusert risiko for lystgasstap, som bare krediteres dersom det fører til lavere N- gjødsling. De to pakkene illustrerer også at det er en lang rekke tiltak som er mulige og kan velges /tilpasses for den enkelte gård. Formålet med beregningene til denne rapporten var å undersøke de totale mulighetene som landbruket har.

Arbeidet bygger også på forutsetningen som var gitt for arbeidet (SFT notat referansebanene) om at det ikke var forventet større endringer i matproduksjon og lystgassutslipp i 2020 (men en

økning av effektivitet og en viss dreining i produksjon fra rødt til hvitt kjøtt). Dette har bl.a betydning for vurderingene og videre prioritering av de enkelte tiltak. Drenering og jordpakking vil kunne gi større avlinger med samme nitrogengjødsling og dermed mer effektiv nitrogenutnyttelse. Det gir mulighet for å øke avlingene uten å øke utslippene. Dersom det vurderes som en ikke har ”behov ” for denne avlingsøkning (beregne med uendret avlingsnivå), må en ved beregningene i stedet redusere gjødsling slik at avlingsnivået også går ned. Dette illustrerer hvor viktig det er å se ulike målsettinger i sammenheng når en skal prioritere tiltak og også være klar over hvilke forutsetninger som er brukt ved alternative beregninger. Når en skal gjennomføre dette i praksis må det tilpasses det enkelte gårdsbruk. Da kan det være aktuelt å ta ut enkelte tiltak fra de to tiltakspakkene i det videre arbeidet. Igjen er det grunn til å minne om den store usikkerhet både i datagrunnlag, effekter av utslipp, kostnader og de forenklede beregninger. Det betyr at en må være varsom ved iverksettelse av tiltak med usikker effekt og svakt datagrunnlag for kostnader. Det er likevel gitt eksempler på at landbruket har muligheter både til bedre nitrogenutnyttelse, besparelse av nitrogen og dermed redusert risiko for lystgasstap. Gjennomføring av tiltakene vil også avhenge av oppfølging og bruk av virkemidler. Det er behov for videre undersøkelser og forskning, se også kapittel 11.

Tabell. 8.1 A. Tiltakspakker lystgassutslipp. Pakke 1. Reduksjon av N-tilførsel med tiltak som ikke gir avlingsnedgang

Tiltak	N-reduksjon tonn	Avlingsendring Grovfôr, tusen FEm Korn, tonn	Reduksjon NO ₃ -N Tonn	Reduksjon NH ₄ -N Tonn	Reduksjon lystgass tonn
1. Stripespredning 50 % og nedfelling 15 %	2.000-2.500	0	100	300	60
2. Bygging av tilleggsleger	1.300-1.700	0	80	200	40
3. Tilsetning av vann	900-1.000	0	50	120	25
4. N-gjødsling korn, oppfølging gjødslingsplan	2.500-3.500	0	500	40	80
5. N-gjødsling eng, oppfølging gjødslingsplan	5.000-7.000	0	1.000	100	160
Sum	11.700-15.700	0	1.730	760	365

Tabell. 8.2 A. Tiltakspakker lystgassutslipp. Pakke 2. Reduksjon av N-tilførsel med tiltak som fører til endringer i avlingsnivå

Tiltak	N-reduksjon tonn	Avlingsendring Grovfôr, tusen FEm Korn, tonn	Reduksjon NO ₃ -N Tonn	Reduksjon NH ₄ -N Tonn	Reduksjon lystgass tonn
6. Drenering kornareal, 40 % av behovet	0	+ 3.500 (korn)	0	0	0
7. Drenering engareal, 40 % av behovet	0	+ 6.800 (grovfôr)	0	0	0
8. Redusere jordpakking på alt kornareal (+ 5%)	0	+ 59.000 (korn)	0	0	0
9. Redusere jordpakking på alt engareal (+ 5%)	0	+ 115.000 (grovfôr)	0	0	0
10. Redusert norm åker med 10 % (avling – 3%)	2.500-3.500	- 35.000 (korn)	500	40	80
11. Redusert norm gjødsling eng med 10 % (- 6%)	4.000-4.800	- 71.000 (grovfôr)	690	100	120
Sum	6.500-8.300		1.190	140	200

Tabell. 8.1 B. Tiltakspakke 1 lystgassutslipp. Reduksjon av N-tilførsel med tiltak som ikke gir avlingsnedgang. Fordelte kostnader (per tonn CO₂).

Tiltak	Investering 1000 kr	Kap.kost- nader/år 1000 kr	Drifts- kostnader/ år 1000 kr	Sparte kostn/år Gjødsel etc 1000 kr	Verdi av endret avling 1000 kr/år	Samlede årlige kostnader 1000 kr	Kosteffekt- tivitet Kr/tonn	Verdsetting av miljønytte reduerte utslipp av NO ₃ og NH ₃ 1000 kr/år	Kosteffekt. inkl. verdsatt miljønytte Kr/tonn
1. Stripespredning 50 % og nedfelling 15 %	323.000	28.000	21.000	-27.000	-6000	22.000	1183	7610	774
2. Bygging av tilleggslager	2.288.000	122.000	13.000	-18.000	-5000	117.000	9435	2100	9266
3. Tilsetning av vann	0	3000	34.000	-10.000	24.000	27.000	3484	5750	2742
4. N-gjødsling korn, oppfølging gjødslingsplan	3000	1000	1000	-37.000	-36.000	-35.000	-1411	10100	-1819
5. N-gjødsling eng, oppfølging gjødslingsplan	4000	2000	1000	-72.000	-71.000	-69.000	-1391	20250	-1799
Sum	2.618.000	156.000	70.000	-164.000	-94.000	62.000	548	45810	143

Tabell. 8.2. B. Tiltakspakke 2 lystgassutslipp. Reduksjon av N-tilførsel med tiltak som fører til endringer i avlingsnivå. Fordelte kostnader (per tonn CO₂).

Tiltak	Investering 1000 kr	Kap.kost- nader/år 1000 kr	Drifts- kostnader/ år 1000 kr	Sparte kostn/år Gjødsel etc 1000 kr	Verdi av endret avling 1000 kr/år	Samlede årlige kostnader 1000 kr	Kosteffekt- tivitet Kr/tonn	Verdsetting av miljønytte reduerte utslipp av NO ₃ og NH ₃ 1000 kr/år	Kosteffekt. inkl. verdsatt miljønytte Kr/tonn
6 + 7. Drenering, 40 % av behovet	523.000	28.000	0	-2000	13.000	13.000	-	-	-
8. Redusere jordpakking på alt kornareal (+ 5%)	200.000	30.000	2000	0	118.000	-86.000	-	-	-
9. Redusere jordpakking på alt engareal (+ 5%)	400.000	60.000	4000	0	148.000	-84.000	-	-	-
10. Redusert norm åker med 10 % (avling – 3%)			1000	-41.000	-70.000	30.000	1210	10100	802
11. Redusert norm gjødsling eng med 10 % (- 6%)	6000	3000		-54.000	-92.000	41.000	1102	15150	695
Sum	1.129.000	121.000	7000	-97.000	117.000	-86.000	-345	25250	-446

For verdsetting av miljønytte er det etter anbefalinger fra SFT brukt kr 20.000 per tonn NO₃ og kr 2.500 per tonn ammoniakk.

Tallene for investeringskostnad, kapitalkostnad og driftskostnad gjelder samlet for tiltak 10 og 11.

9. Virkemiddelanalyse

9.1 Generelt om virkemidler

For at aktuelle tiltak mot lystgassutslipp fra jordbruket skal bli gjennomført, vil det måtte innføres virkemidler av ulik art. For tiltak som medfører vesentlig økte kostnader for foretakene, vil det være nødvendig med betydelige økonomiske virkemidler og/eller sterke juridiske virkemidler for å få ønsket effekt. For tiltak som er lite belastende, eller til og med er bedriftsøkonomisk lønnsomme, vil virkemidlene generelt kreve relativt lite ressurser for å gi god effekt.

Virkemidlene kan inndeles i:

- Administrative virkemidler (informasjonskampanjer, rådgivning o.l.)
- Juridiske virkemidler (lover, forskrifter o.l.)
- Økonomiske virkemidler (tilskudd, investeringsstøtte o.l.)

Selv om det i utgangspunktet er slik at en bør bruke virkemidler som medfører at det mest kostnadseffektive tiltaket iverksettes, kan det være aktuelt å kombinere de ulike virkemidlene for å stimulere eller framtvinge at ønskete tiltak skal iverksettes. Ett eksempel kan være at innføring av forbud mot husdyrgjødselspredning utenom en viss periode følges opp av investeringsstøtte til gjødsellager slik at foretakene lettere kan tilpasse seg et strengere regelverk og at en dermed i mindre grad risikerer at foretakene legger ned drifta.

Den økonomiske situasjonen i jordbruket tilsier at strengere krav som medfører større økonomisk belastning vil kunne medføre ytterligere nedgang i antall foretak. Relativt svak lønnsomhet sammen med usikkerhet om rammebetingelsene framover innebærer at evnen og viljen til å investere er begrenset. Særlig gjelder dette for tyngre investeringer med lang avskrivningstid (for eksempel driftsbygninger og lager for husdyrgjødsel). For lettere omsettelige eiendeler med kortere avskrivningstid, for eksempel traktorer, maskiner og redskaper, er det større vilje og evne til å investere.

Administrative virkemidler som kan være aktuelle i denne sammenhengen kan for eksempel være at myndighetene driver eller støtter tiltak som informasjonskampanjer, kunnskapsoppbygging, rådgivning o.l.. For tiltak som er bedriftsøkonomisk lønnsomme, kan slike virkemidler være tilstrekkelig til at bøndene endrer atferd. Et eksempel på dette er tiltak mot jordpakking som vil kunne være bedriftsøkonomisk lønnsomt hvis bøndene får den nødvendige kunnskapen om sammenhengene mellom god agronomi og økonomisk resultat. For tiltak som ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomme, vil det være mindre aktuelt med bruk av administrative virkemidler. Et annet virkemiddel som grenser til virkemidlet tilskudd, er inngåelse av avtaler mellom myndigheter og foretak eller grupper av foretak (kollektive avtaler) der foretakene får støtte hvis de oppfyller vilkårene i avtalen. Dette virkemidlet vil være både av administrativ og økonomisk art da det er naturlig å knytte oppfyllelse av avtalen til økonomisk belønning. Virkemidlet medfører betydelige utfordringer, først og fremst knyttet til hvordan lystgassutslippene skal beregnes, men også til praktisk gjennomføring av tiltakene. Det er rundt 46 000 foretak som mottar produksjonstilskudd og ikke alle disse er organisert i næringsorganisasjonene. Næringsorganisasjonene har ingen myndighet over sine medlemmer når det gjelder iverksetting av tiltak slik at tiltakene på baseres på frivillighet. Det er derfor tvil om

styringseffektiviteten ved bruk av et slikt virkemiddel. Virkemidlet vil trolig medføre begrensede administrasjonskostnader, men dette er svært avhengig av hvor store ressurser som vil måtte brukes på registrering og måling av utslipp.

Juridiske virkemidler er lover og forskrifter som setter krav (forbud eller påbud) om visse former for aktivitet eller atferd. Det er ofte satt krav om dokumentasjon knyttet til juridiske virkemidler. Aktuelle forhold som kan være nødvendig å styre, kan for eksempel være forbud mot spredning av husdyrgjødsel gjennom luft (breispredning), forbud mot spredning utenom en bestemt periode, forbud mot gjødsling over et visst nivå, strengere krav til spredeareal og krav om miljøplan.

Økonomiske virkemidler (avgifter, tilskudd, investeringsstøtte o.l.) er aktuelle for å stimulere til visse tiltak, aktiviteter, teknikker eller driftsformer. Når det gis tilskudd og investeringsstøtte settes det som regel krav til hvordan tiltaket eller aktivitetene skal utføres. Et eksempel på dette er kravet om miljøplan og gjødslingsplan som vilkår for produksjonstilskudd. Selv om kravet om gjødslingsplan og miljøplan er gitt som forskrift må dette regnes som et økonomisk virkemiddel da det er et vilkår for å oppnå tilskudd. Aktuelle økonomiske virkemidler for å hindre lystgassutslipp kan være tilskudd til miljøvennlig spredning av husdyrgjødsel, investeringsstøtte til bygging av gjødsellager, investeringsstøtte til drenering, investeringer i bedre dekkutrustning, avgift på mineralgjødsel, omsettelige kvoter på gjødsel eller utslipp. En kan videre se for seg skjerpede krav knyttet til utbetaling av produksjonstilskuddet, for eksempel at bløtgjødsel skal spres ved nedlegging eller nedfelling.

9.2 Aktuelle virkemidler knyttet til de ulike tiltakene

For å stimulere til at de aktuelle tiltakene gjennomføres er det mange virkemidler som kan være aktuelle. Nedenfor gis det en vurdering av de ulike aktuelle virkemidler innenfor hvert tiltak. For noen tiltak er det allerede etablert virkemidler som har virkning på utslippene i jordbruket. Dette er beskrevet under hvert enkelt tiltak.

9.2.1 Ny spredeteknikk

Overgang til nye og mer miljøvennlige teknikker for spredning av husdyrgjødsel er et aktuelt tiltak for å få ned utslippene av lystgass. Ny teknikk gjør det mulig å få bedre utnyttning av nitrogenet i husdyrgjødsel og dermed kan utslippene av lystgass senkes. Bedre utnyttning av husdyrgjødsel gir mindre behov for mineralgjødsel, noe som betyr lavere kostnader. Ved bruk av ny teknikk kan en også i mange tilfeller spare arbeidskostnader. Årsaken til at nye spredeteknikker ikke har fått vesentlig omfang antas å være at det krever betydelige investeringer som ikke vurderes som bedriftsøkonomisk lønnsomme. Økologisk drevne bruk er i stor grad avhengig av husdyrgjødsel, og på disse brukene er det sannsynligvis bedriftsøkonomisk lønnsomt å ta i bruk nye spredeteknikker.

Ved jordbruksoppjøret i 2007 ble det bestemt at det skulle etableres en pilotordning med tilskudd til miljøvennlig spredning av husdyrgjødsel. Ordningen er gjort gjeldende for utvalgte områder i Buskerud, Hedmark, Rogaland og Sogn og Fjordane. Fra 2010 vil utvalgte områder i Nord-Trøndelag komme med i ordningen. Erfaringene viser at oppslutningen om ordningen har vært god. Tilskuddssatsene per dekar har til dels ligget over det som i denne rapporten er beregnet som merkostnader ved overgang til ny spredeteknikk. Avhengig av størrelsen på tilskuddssatsene vil denne ordningen fortsatt kunne få god oppslutning.

I flere land er det ikke tillatt å bruke breispredere på eng. Ett tilsvarende forbud i Norge vil gjøre det nødvendig med betydelige investeringer i nytt utstyr. Hvis foretakene ikke får dekket sine økte kostnader, kan konsekvensen være at areal der det nå brukes breispredere ikke lenger vil bli gjødslet med husdyrgjødsel, for eksempel på grunn av framkommelighet, helning, arrondering og steinholdig jord. Det kan igjen føre til at det brukes større mengder på det arealet som blir gjødslet, noe som kan gi dårligere virkning av gjødsla og større tap av blant annet lystgass.

Med de relativt høye prisene på mineralgjødsel en har sett de siste årene, har det blitt økt fokus på å ta i bruk ny spredeteknikk for å få ned gjødselkostnadene. Dette tyder på at høyere gjødselpris vil føre til en tilpasning der husdyrgjødsla utnyttes bedre. Også gjennom å legge avgift på mineralgjødsel vil husdyrgjødsla bli mer verdifull og dermed bli bedre utnyttet. Gjødselavgift som virkemiddel er drøftet under tiltaket ”Redusert gjødsling”

Noen av de aktuelle spredeteknikkene kan føre til mer kjøring både etter vei og på jordbruksarealene, noe som klimamessig kan være uheldig. Dette må det tas hensyn til ved vurdering av hvilke typer teknikk som skal gis støtte.

Med de valgte forutsetningene, og i forhold til breispredning, er netto merkostnad ved stripespredning på kr 11 per dekar (kr 2,2 mill. for 200 000 daa) og ved nedfelling på kr 49 per dekar (kr 9,8 mill. for 200 000 daa). Til sammenlikning er tilskuddssatsene for stripespredning med bruk av slepeslange på kr 125 per dekar og for nedfelling på kr 130 per dekar. Det skulle etter dette være grunnlag for å vurdere senking av satsene uten at oppslutningen om ordningen skulle gå vesentlig ned. Også ut fra leiekjøringspriser fra Jæren og Trøndelag kan det se ut til at i områder som omfattes av tilskuddsordningen dekker tilskuddet fullt ut kostnadene med nedfelling og stripespredning.

9.2.2 Økt lagerkapasitet

Etter gjødselvereforskriften er det et krav om at lagringskapasiteten skal være minimum 8 måneders produksjon. Sammen med bestemmelsene om spredetidspunkt forhindrer dette kravet at det i en viss grad ikke spres husdyrgjødsel utenom vekstsesongen. Både for å unngå forurensning og for å bruke husdyrgjødsla optimalt er en lagringskapasitet på 8 måneder for liten og burde heller vært 10 -12 måneder. Innskjerping av bestemmelsene om tidspunkt for gjødselspredning er også aktuelle i denne sammenhengen. Disse bestemmelsene er i prinsippet mer målrettet virkemiddel enn å regulere lagringskapasiteten. For å få optimal utnytting av husdyrgjødsla (optimalt spredetidspunkt, værforhold m.m.), og ikke bare sette krav om at spredning ikke skal skje i løpet av den tele- og snøfrie perioden, er det nødvendig med betydelig utvidelser av lagringskapasiteten. Dette vil i tillegg ha betydning for å unngå andre utslipp enn lystgassutslipp, både til vann og luft.

Innskjerping av kravet til lagringskapasitet vil innebære betydelige kostnader til investeringer i gjødsellager. For å stimulere til at det blir bygd gjødsellagre er det aktuelt å utvide rammene for investeringsstøtte til slike tiltak. Uten at det gis slike muligheter kan innskjerping av kravet føre til at flere foretak legger ned driften og/eller at produksjonen går ned.

Da økt lagerkapasitet vil kunne gi bedre muligheter for utnytting av husdyrgjødsla, vil investeringsstøtte til utvidet lagerkapasitet kunne gi positive effekter av flere andre tiltak, som nye spredningsteknikker, tilsetting av vann og redusert gjødsling.

9.2.3 Tilsetting av vann i husdyrgjødsel

For dette tiltaket kan en i utgangspunktet se for seg både administrative, juridiske og økonomiske virkemidler. Gjennom informasjonskampanjer og rådgivning kan en bidra til at bedre utnytting

av husdyrgjødsel som følge av vanntilsetting. Forbud mot å spre husdyrgjødsel som ikke er tilsatt tilstrekkelige mengder vann kan vurderes, men det er neppe hensiktsmessig at dette kravet skal gjelde all slags gjødsel, for eksempel tørrgjødsel. Økonomiske virkemidler som tilskudd til spredning av husdyrgjødsel med vanninnblanding eller å sette dette som betingelse for å motta produksjonstilskudd, kan også være mulige løsninger. Bortsett fra informasjon og rådgivning vil disse virkemidlene innebære utfordringer når det gjelder avgrensning av hvilken praksis som skal være akseptabel. Dette vil også være krevende ordninger å kontrollere. Tilsetting av vann vil i mange tilfeller føre til større behov for kjøring både etter vei og på jordbruksarealene. Dette kan føre til mer jordpakking og dermed mer lystgassutslipp og andre utslipp av klimagasser.

9.2.4 Bedre oppfølging av gjødslingsplan

Dette tiltaket innebærer at gjødslingsplanene i større grad bygger på forventet avlingsstørrelse og at planene i større grad følges. Krav om næringsstoffregnskap kan også være aktuelt i denne sammenhengen.

I den grad slike tiltak er bedriftsøkonomisk lønnsomme vil administrative virkemidler i form av støtte til informasjon og rådgivning være mest aktuelle. Utvikling av bedre gjødslingsplanleggingsverktøy og bedre kunnskap om sammenhengene mellom gjødsling og avling er også aktuelle tiltak som det kan gis støtte til.

Dagens bestemmelser gir i liten grad sikkerhet for at det ikke gjødsles mer enn det som framgår av gjødslingsplanen. Videre er det uklart hvor sterkt det kan gjødsles før det kan påvises at dette er i strid med forskrift om gjødslingsplanlegging og gjødselvareforskriften. Den eneste bestemmelsen som setter eksakte begrensninger for gjødsling er at i områder som drenerer til Nordsjøen skal tilførselen av husdyrgjødsel ikke overstige 17 kg total nitrogen per år.

I utgangspunktet må det legges til grunn at det ikke gjødsles mer enn det som er økonomisk lønnsomt. I den grad det gjødsles over økonomisk optimalt nivå må dette forklares med usikkerhet omkring næringsinnhold i, og effekt av gjødsel, først og fremst når det gjelder husdyrgjødsel. Dette kan forklare at en ved gjødslingsplanlegging og praktisk gjødsling legger til en form for sikkerhetsmargin slik at en er sikker på at det gjødsles tilstrekkelig. Gjødsling over behovet kan også forklares ved at en ved gjødselkjøp og praktisk gjødsling avrunder antall sekker oppover og at en velger å bruke færre gjødselsorter enn det som teoretisk er optimalt.

Gjennom administrative virkemidler som støtte til forskning, rådgivning og informasjon kan en i større grad oppnå at det ikke gjødsles sterkere enn det som er nødvendig for å oppnå økonomisk optimalt resultat.

Det kan videre være aktuelt å sette strengere krav til dokumentasjon av tilført næring og bortført næring, for eksempel i form av et næringsstoffregnskap. Dette kan løses ved å bygge ut gjødslingsplanen til et regnskap over hvor mye næringsstoff som er tilført og bortført fra jorda. Kontroll av næringsstoffregnskapet kan by på utfordringer da dette må bygge på en kontroll av dokumentasjon på tilførte og bortførte mengder næringsstoff. En kan også se for seg et system der myndighetene ut fra opplysninger om areal, produktmengde, dyretall og innkjøpt mineralgjødsel kan skille ut de foretakene som tilsynelatende gjødsler intensivt og undersøke disse foretakene nærmere. Dette krever imidlertid at det etableres et system for registrering av gjødselkjøp som kan koples opp mot hvert enkelt foretak som søker produksjonstilskudd. Hvis det lykkes å etablere et slikt system med tilhørende juridiske virkemidler vil dette kunne være en kostnadseffektiv måte å kontrollere at bestemmelsene blir fulgt i praksis.

9.2.5 Redusert gjødsling

Tiltak for å redusere gjødslingen ytterligere i forhold til tiltaket ”Bedre oppfølging av gjødslingsplan” vil innebære økonomiske konsekvenser for foretakene. Innføring av avgift vil føre til at punktet for økonomisk optimal gjødsling vil senkes og dermed til reduserte avlinger. Kostnadene med å administrere en slik ordning er relativt lave. Erfaringer viser at avgiften må være relativt høy for at den skal gi vesentlig effekt og dette vil gi betydelige kostnadsøkninger også på foretak der det gjødsles etter norm eller under norm. Da avgiften vil få konsekvenser for alle som bruker mineralgjødsel, kan gjødselavgift derfor beskrives som lite målrettet. Andre aktuelle virkemidler kan være innføring av bestemmelser om maksimalt gjødslingsnivå eller å sette bestemmelser om maksimal gjødsling som et vilkår for utbetaling av tilskudd. Innføring av kvoter på mineralgjødsel vil også kunne være et aktuelt virkemiddel, men dette vil trolig medføre administrasjonskostnader. Gjødslingsbehovet varierer imidlertid med avlingsstørrelse, type vekst, nedbørmengder og en lang rekke faktorer slik at det er svært krevende å sette opp grenser for gjødslingsnivå som på en effektiv måte skal føre til begrensede utslipp. Det må også lages et system for kontroll av mengder gjødsel som er brukt på det enkelte foretak. Dette vil innebære kontroll av dokumentasjon av hvilke gjødselmengder som er brukt. Ut fra opplysninger om areal, dyretall og innkjøpt mineralgjødsel kan gjødslingsintensiteten kontrolleres. Dette krever at det etableres et system for registrering av gjødselkjøp som kan koples opp mot hvert enkelt foretak som søker produksjonstilskudd.

9.2.6 Drenering

Aktuelle virkemidler for at drenering skal bli et mer utbredt tiltak mot lystgassutslipp er først og fremst investeringsstøtte. For grøfteprosjekt som er bedriftsøkonomisk lønnsomme vil informasjon og rådgivning være aktuelle virkemidler. En forutsetning for dette er at en gjennom forskning får bedre kunnskap om sammenhengene mellom grøftetilstand og avling.

Fra 2010 blir det åpnet for å legge grøfting inn i formålet for låneordningen med rentestøtte. Dette vil gjelde hele landet, men det er opp til hvert enkelt fylke om de vil prioritere dette formålet framfor for eksempel driftsbygninger. Hittil har det vært muligheter til tilskudd til grøfting i Nord-Norge, men det har bare vært Troms og Finnmark som har prioritert midler til grøfting. Ut fra dagens etterspørsel etter, og tilgang på bygdeutviklingsmidler, vil neppe tilskudd til grøfting få noen reell betydning for økonomien ved grøfting. Det er derfor behov for betydelige midler hvis drenering skal få det omfanget som foreslås (158 000 dekar).

Kostnader til administrasjon av virkemidler rettet mot drenering er vanskelig å anslå. Det mest nærliggende er at dette administreres som bygdeutviklingsmidler og kan inngå som en del av disse. Kostnadene ved søknadsbehandling, utbetaling og kontroll vil sannsynligvis ikke utgjøre vesentlige beløp.

Hvis en skal oppnå at det settes inn tiltak på de arealene som har det største potensialet for reduksjon av lystgassutslipp, vil dette medføre administrative kostnader både når det gjelder utvikling av metodikk, kartlegging og rådgivning overfor brukerne av disse arealene. Hvorvidt disse arealene vil bli drenert vil være usikkert, men størrelsen på eventuelle tilskudd vil være av stor betydning for om tiltaket realiseres. Alt i alt vil denne framgangsmåten medføre betydelige kostnader, men da den er svært målrettet vil effekten kunne være god, forutsatt at tilskuddet settes så høyt at det blir lønnsomt for brukeren å investere i grøfting.

9.2.7 Jordpakking

Tiltak mot jordpakking vil neppe kunne iverksettes med juridiske virkemidler da dette vil medføre store utfordringer knyttet til hvilke krav som skal stilles og til kontroll av hvorvidt kravene oppfylles. Det er også vanskelig å se at tiltak mot jordpakking kan gjennomføres med

økonomiske virkemidler. Investeringsstøtte til dekkutrustning som fører til mindre jordpakking kan være aktuelt, men gir i mindre grad sikkerhet for at dette fører til mindre jordpakking. Vurdering av og kontroll med at riktige dekk kjøpes og at de brukes på jord som er utsatt for pakking, ville være svært krevende og vil trolig ha dårlig treffsikkerhet. Bruk av administrative virkemidler er derfor de mest aktuelle i denne sammenhengen. Informasjonskampanjer og rådgivning vil være aktuelle tiltak som vil kunne gjøre det mer aktuelt for foretakene å sette inn tiltak mot jordpakking. Det er lagt til grunn at tiltak mot jordpakking vil gi så stor avlingsøkning at tiltaket vil være bedriftsøkonomisk lønnsomt. Det er altså lagt til grunn at foretakene ikke har satt inn tiltak mot jordpakking da de ikke er klar over hvor mye de taper på jordpakking. Det er derfor nødvendig med kunnskapsoverføring fra forskere og rådgivere til de enkelte yrkesutøverne i foretakene. Det må finnes nødvendig kunnskap om sammenhenger mellom driftsteknikk, jordpakking og avlingsnivå. Det er nødvendig å bruke ressurser på å bygge opp dette kunnskapsgrunnlaget gjennom økt satsing på forskning og utredning. Det er naturligvis betydelig usikkerhet knyttet til virkningene av virkemidlene som tenkes satt inn for å utløse tiltak mot jordpakking. Usikkerheten knytter seg først og fremst til hvorvidt en klarer å formidle budskapet til bøndene på en slik måte at de endrer sin atferd og i langt større grad enn i dag klarer å unngå jordpakking.

9.3 Egenskaper og effekter ved de ulike virkemidlene

Nedenfor er det gitt vurderinger av noen aktuelle virkemidler med hensyn til ulike egenskaper og effekter. Oppstillingen av virkemidler er ikke utømmende. For å beskrive virkemidlenes egenskaper er det brukt en skala fra -- til ++ der 0 er nøytralt eller ingen sammenheng. For kostnader til administrasjon og oppfølging i foretakene innebærer -- høye og ++ lave kostnader.

	Tilskudd ny spredeteknikk	Forbud breispredning	Gjødselavgift	Investeringsstøtte lager, grøfting
Kostnadseffektivitet	+	+	++	-
Styringseffektivitet	++	++	+	++
Dynamisk effektivitet	+	+	+	0
Adm kostnader	-	+	+	-
Målkonflikt	kan gi mer jordpakking	prod.nedgang, flere foretak kan bli nedlagt	prod.nedgang, flere foretak kan bli nedlagt	
Oppsummering	+	+	+	0

	Informasjon og rådgivning	Innskrenket spredesesong	Påbud om redusert gjødsling	Strengere krav til spredeareal
Kostnadseffektivitet	++	+	+	+
Styringseffektivitet	0	++	++	++
Dynamisk effektivitet	+	+	+	+
Adm kostnader	+	+	--	+
Målkonflikt		prod.nedgang, flere foretak kan bli nedlagt	prod.nedgang, flere foretak kan bli nedlagt	prod.nedgang, flere foretak kan bli nedlagt
Oppsummering	+	++	0	+

Kostnadseffektiviteten for de ulike virkemidlene avhenger av i hvor stor grad de fører til at tiltak blir iverksatt. Når det gjelder økonomiske virkemidler er for eksempel størrelsen på tilskudd av stor betydning for om tiltak vil settes i gang. Både gjødselavgift og juridiske virkemidler vil være kostnadseffektive, men kan komme i konflikt med landbrukspolitiske mål som at det skal være aktivt landbruk over hele landet og forsyningssikkerhet av mat. For eksempel vil strengere regler for spredeareal få konsekvenser for de mest husdyrtette landbruksområdene, som også har de beste naturgitte forutsetningene for matproduksjon. Dette kan kompenseres ved tilbakeføring av betalt gjødselavgift eller ved å yte investeringsstøtte slik at foretakene ikke kommer vesentlig dårligere ut økonomisk etter innføring av virkemidlet. Påbud om redusert gjødsling vil kunne medføre administrasjonskostnader som svekker kostnadseffektiviteten av dette virkemidlet. Virkemidler som utløser informasjon og rådgivning vil være kostnadseffektive så lenge de fører til at tiltak som er bedriftsøkonomisk lønnsomme blir iverksatt.

Styringseffektiviteten vil være høy ved bruk av juridiske virkemidler som forbud og påbud da disse effektivt regulerer atferden dit hen myndighetene ønsker. Det kan imidlertid være forhold som er vanskelig å regulere slik at regelverket ikke blir så "tett" som ønskelig og at uønskete tilpasninger vil finne sted. For administrative og økonomiske virkemidler er det mer usikkert om disse virkemidlene medfører endret atferd, og styringseffektiviteten kan derfor være lavere. Dette avhenger i stor grad av hvordan virkemidlene er utformet og hvordan de oppfattes av målgruppene.

Virkemidlene antas å ha ulik dynamisk effektivitet da de i ulik grad vil bidra til at utslippene senkes over tid. Tilskudd til ny spredeteknikk antas å bidra til at den teknologisk utviklingen på dette området fremmes slik at utslippene kan forventes å gå ytterligere ned. Strengere regler for gjødsling vil kunne føre til mer fokus på god utnytting gjennom bruk av ny teknologi, noe som kan gi grobunn for teknologisk utvikling og dermed ytterligere mindre utslipp. Imidlertid kan resultatet av at myndighetene setter eksakte maksimale gjødselmengder og frister for gjødsling, bli at foretakene tilpasser seg "inntil" disse verdiene, noe som ikke kan sies å være dynamisk effektivt.

Administrasjonskostnadene antas å være relativt lave for virkemidler som forbud mot breispredning, gjødselavgift, informasjon/rådgivning, innskrenket spredesesong og strengere krav til spredeareal. Tilskudd til ny spredeteknikk og investeringsstøtte antas å ha relativt høge administrasjonskostnader. Det samme gjelder påbud om redusert gjødsling, men dette avhenger i stor grad av om det blir etablert et kostnadseffektivt system for rapportering av mineralgjødselhandel.

10. Vurdering av nye beregningsmetoder

10.1 Estimater basert på målinger

Som grunnlag for alle estimater og beregningsmetoder må det gjøres målinger. Den metoden som egner seg best til rutevise feltforsøk, og som er den enkleste og vanligste metoden er kammermetoden: mørke, gasstette kammer av plast eller aluminium settes for korte perioder på rammer som er permanent installert i jordoverflaten. Forandringer i N₂O konsentrasjon i kammerluften over tid registreres med å ta små luftprøver i regelmessige tidsavstand. Hvor ofte prøvene tas varierer med kammernes størrelse og forventet utslippshastigheten (3 til 4 prøver i løpet av 0,5 til 1 time). Prøvene oppbevares i gasstette glassrør og transporteres til laboratoriet for gasskromatografisk analyse med hjelp av en egnet detektor. Fluksen av N₂O mellom jord og atmosfæren beregnes som produkt av observert konsentrasjonsforandring ved en gitt temperatur og kammervolumen per avdekket areal. Metoden er relativt enkelt i sin gjennomføring men har en rekke ulemper: pamflett

- Kammernes størrelse er begrenset av at de må kunne håndteres av en eller to personer. Dette medfører et svært lite areal ($\ll 1\text{m}^2$) for hver enkelt fluksobservasjon. N₂O flukser fra jord er kjent til å være svært variabel i rom ofte med variasjonskoeffisienter (standardavvik i prosent av gjennomsnittet) større en 100% på avstand av noen få meter. Estimater basert på et fåtall gjentatte fluksmålinger per jorde er derfor svært usikre i statistisk forstand.
- Gassprøvene analyseres til vanlig i laboratoriet, noe som innebærer mulighet til en rekke feil: kontaminasjon av prøvegass ved prøvetagning grunnet ufullstendig evakuerte flasker, kontaminasjon ved transport og lagring grunnet lekkasje, kontaminasjon ved injeksjon til gasskromatograf osv.
- På grunn av logistiske begrensninger ved manuell prøvetagning og analyse er antall fluksmålinger noe begrenset: typiske måleintervaller er en til to målinger ukentlig. Dette innebærer at tidsdynamikken av N₂O utslipp som er kjent til å være svært episodisk kan dårlig fanges opp, noe som kan føre både til under- og overestimering av årlig utslipp.
- Beregningen av emisjonsrater baserer seg på en rekke antagelser og målt utslippshastighet kan derfor ikke ansees som absolutt. For eksempel, sammenligning av emisjonshastighet målt med forskjellig store kammer har vist dårlig overensstemmelse i porøs jord. Dette skyldes antagelig luftfylt porevolum i jord som bidrar til kammervolumen og motsir antagelsen at kammervolumen er statisk (*personlig meddelelse: Leif Klemedtsson*). En annen antagelse for beregningen er at fluksen mellom jord og kammeratmosfære er drevet av diffusjon. N₂O konsentrasjoner i jordens poreluft kan være svært høye og massefluks utløst av lufttrykkssvingninger kan ikke utelukkes. Lufttette kammer skjuler jorden for trykk-svingninger og metoden kan dermed ikke fange opp slike emisjoner. Sist består det en viss usikkerhet om hvordan observert konsentrasjonsforandring i kammerne bør behandles matematisk. Kammermetoden opererer ikke i likevekt men N₂O hopper seg opp i kammerne noe som kan kunstig begrense diffusjonshastighet fra bakken.

Til tross av begrensninger er den statiske kammermetoden fremdeles den mest brukte metoden for direkte fluksobservasjoner og alle indirekte estimeringsmetoder (som IPCCs emisjonsfaktorer, se under) baserer seg på årlige N₂O utslippstall skaffet fram med denne metoden. Minstekrav for å estimere årsutslipp fra direkte observasjoner er toukntlige målinger utført gjennom minst 8 måneder snøfri periode (e.g. Freibauer 2003).

I motsetning til kammermetoden, oppnås det en mye høyere tidsoppløsning med mikrometeorologiske målemetoder. Her måles det lystgasskonsentrasjoner i luften direkte over et felt samtidig med registrering av luftens bevegelse i 3 dimensjoner. Dermed måler mikrometeorologiske metoder utslipp fra mye større arealer (> 10 da) og integrerer samtidig over den kjente spatialvariabiliteten av N₂O fluks. Målt areal ('mikrometeorologisk footprint') skifter imidlertid dynamisk med vind og temperatur, noe som innebærer at utslippet per spatiale enhet må beregnes med hjelp av meteorologiske modeller (f. eks. eddy covariance). Mikrometeorologiske teknikker krever god infrastruktur (e.g. strømforsyning), spesielle analysatorer med hurtig respons og god modelleringsforståelse. Sammenlignet med kammermetoden er mikrometeorologiske målemetoder kostbart og lite robust og typisk oppnår brukbare målinger i bare 50% av tiden gjennom et år. Den største ulempen forblir mangelen av replisering (replisering på feltnivå ville innebære gjentatte installasjoner på store felt) og dermed den manglende evnen å registrere behandlingseffekter i plotforsøk.

Per i dag finns det i Norge bare få direkte observasjoner av lystgassutslipp fra landbruksjord i Norge (for eks. Hansen *et al.* 1993; Sitaula *et al.* 2000). Disse er ikke tilstrekkelige til å estimere årlige utslipp. I regi av NFR prosjektet: "Creating a scientific basis for an integrated evaluation of soil-borne GHG emissions in Norwegian agriculture – short name: Soil GHG" blir det startet i år regelmessige målinger med kammermetoden i plotforsøk på Nordvestlandet (eng) og på Østlandet (åker). Målingene vil pågå gjennom to år (2009 - 2011) og danne det første kontinuerlige datasett som kan brukes til å estimere N₂O-utslipp på årsbasis fra direkte målinger i avhengighet av vekst, nitrogen input og andre faktorer.

10.2 Estimer basert på utslippsfaktorer (IPCC)

FN's klimapanel (IPCC) foreslår en enkel beregningmetode for menneskeskapt lystgassutslipp mha utslippsfaktorer som baserer seg på en meta analyse av tilgjengelige måledata. Utslipp på landsbasis beregnes ut fra jordbruksareal, gjødsling, antall dyr etc. Metoden kalles for 'Tier 1', er likt for alle land og lar seg enkelt gjennomføre. For å estimere direkte utslipp fra dyrket jord brukes det en fast utslippsfaktor som beregner årlig N₂O utslipp som en funksjon av tilsatt nitrogen. Denne lineære funksjonen var opprinnelig basert på data fra 20 steder i Europa og Nord-Amerika hvor det ble gjort målinger gjennom et helt år (Bouwman 1996).

$$\text{Utslipp (N}_2\text{O-N)} = 1 + (0,0125 * \text{tilført N}) \quad r^2 = 0,8$$

IPCC (2006) har korrigert utslippsfaktorene for N₂O og oppgir nå følgende beregningsgrunnlag for N₂O utslipp oppgitt som prosent av tilført nitrogen (usikkerhet i parentes) eller per hektar. Verdiene oppgitt her er basert på Tabell 11.1 og Tabell 11.3. fra IPCC (2006) og tabell 10.21

(default emission factors for direct N₂O emissions from manure management, s 10.62-10.64) i kapittel 10:

- Nitrogen tilført jordbruksjord kunstgjødsel, husdyrgjødsel, annet organisk materiale og planterester, og nitrogen frigjort ved nedbryting av organisk materiale i jorda (tap av karbon): 0,01 kg N₂O-N per kg tilført N (0,003-0,03)
- Nitrogen i gjødsel fra beitende storfe, høns og griser: 0,02 kg N₂O-N per kg tilført N (0,007-0,06)
- Nitrogen i gjødsel fra beitende sau og andre dyr: 0,01 kg N₂O-N per kg tilført N (0,003-0,03)
- Bakgrunnsutslipp fra organisk jord i tempererte områder i kg N₂O-N per ha: 8 kg N₂O-N per kg tilført N (2-14)
- Gjødsellager: Bløtgjødsel med flytelag: 0,005 kg N₂O-N per kg utskilt N
- Gjødsellager: Bløtgjødsel uten flytelag og biorest: 0 kg N₂O-N
- Gjødsellager: Fast husdyrgjødsel: 0,005 kg N₂O-N per kg utskilt N Nitrogen fordampet fra kunstgjødsel eller husdyrgjødsel som NH₃ eller NO_x: 0,01 kg N₂O-N per kg fordampet N (0,002-0,05)Utvasket nitrogen: 0,0075 kg N₂O-N per kg utvasket N (0,0005-0,025)
- Biologisk nitrogenfiksering: 0 %

Mengde husdyrgjødsel-N som tapes som N₂O gass beregnes på grunnlag av:

- antall dyr av hvert husdyrslag i landet
- utskilling av N per dyr
- handteringsmåte for husdyrgjødsel
- estimat på hvor store gasstap det er ved ulik handtering av gjødsla

Kilde: 10.26 og 10.27 (IPCC 2006)

IPCCs Tier 1 emisjonsberegninger på global basis klarer imidlertid ikke å forklare den observerte økningen av N₂O i atmosfæren (Crutzen *et al.* 2008). Dette antyder at IPCCs metode underrapporterer N₂O-utslipp. IPCC oppgir stor usikkerhet i alle sine utslippsfaktorer og differensierer ikke lokale forhold som lufttilgang, vanninnhold, karbontilgjengelighet, gjødseltype, etc. Ved små og moderate nitrogentilførsler ser disse forhold ut til å ha mer å si enn mengde N som er tilført (Kasimir Klemedtsson, 2009). Formålet med beregningene basert på IPCC's Tier 1 utslippsfaktorer er altså ikke å beskrive utslipp av lystgass for hvert jorde, vekst eller år, men å gi et estimat på det totale utslippet i nasjonal rapportering. IPCCs metode er ikke egnet til å vurdere effekten av enkle dyrkingssystemer med mindre man har utslippsfaktorer som er spesifikke for de dyrkingssystemer man estimerer utslipp for. IPCC oppfordrer sterkt til bruk av slike regionaliserte utslippsfaktorer (Tier 2), men forlanger at disse er kvalitetssikret og basert på publiserte måledata.

En tredje tilnærming i IPCC systemet er Tier 3, som tillater bruk av dynamiske prosessmodeller som er kalibrert og validert med målte data (se under). Norge bruker per i dag Tier 1 i sine rapporteringer.

10.3 Crutzen *et al.* 2008

Globalt er det en sammenheng mellom økningen av reaktiv nitrogen i biosfæren og økningen av lystgass i atmosfæren. Den nåværende globale nitrogentilførselen er estimert til 28 Tg a⁻¹ fra forbrenning, 30 Tg a⁻¹ fra biologisk fiksering og 90 Tg a⁻¹ fra kunstgjødning (AFA 2007). Målinger av N₂O økning i unge iskjerner (≤50 år) stemmer overens med den observerte økningen av N₂O i atmosfæren (Ishijima *et al.* 2007) og analyser av eldre iskjerner viser konsistent lavere preindustrielle/ prehistoriske N₂O konsentrasjoner (e.g. Spahni *et al.* 2005). Dette er grunnlaget for en metode foreslått av Crutzen *et al.* (2008) som er basert på tilførsel av nytt reaktivt nitrogen til økosystemet som helhet og ikke på enkelte områder. Ut fra en kjent atmosfærisk N₂O vekst (3,9 TG N₂O-N a⁻¹) og den kjente fotokjemiske nedbrytningsraten i stratosfære (12 TG N₂O-N a⁻¹) er den årlig N₂O input til atmosfæren 15,9 TG N₂O-N a⁻¹. Sammenlignet med en estimert preindustrielt N₂O input av 10,3 TG N₂O-N, blir den antropogene N₂O kilden 5,6 TG N₂O-N a⁻¹. Derav er ca. 0,7 Tg av industriell kilder, resten (4,9 Tg a⁻¹) stemmer fra landbruk. Med en estimert tilførsel av 127 Tg nytt reaktivt nitrogen (Galloway *et al.* 2004) beregnes det en N₂O andel av 3,8 - 5-1% av antropogen nitrogen, som er betydelig høyere enn de emisjonsfaktorene IPCC operer med. Beregningsmetoden er global i sin natur og kan ikke angi hvor og når utslippene skjer.

10.4 Statistiske modeller

Fordi dannelse og utslipp av lystgass i jord påvirkes av mange naturlige faktorer er det prøvd å lage statistiske modeller som inkluderer andre faktorer enn tilførsel av nitrogen. Et eksempel er en stegvis multivariat analyse gjort på samlede måledata fra Europa (Freibauer 2003 og Freibauer and Kaltschmitt 2003). Her har man forsøkt å regionalisere så langt det har vært mulig og delt opp i ulike klimasoner. I områder med tele har man anslått høyere lystgassutslipp enn i områder med mildt klima. Nord-Europa har blitt delt opp i et temperert vestlig klima og et alpin-subborealt klima, der det regelmessig er frost i vinterhalvåret. Regresjonsligningen for mineraljord i det subboreale området er (med usikkerhetsområder i parentes):

$$E_{N_2O} = -1,3(\pm 2,1) + 0,033(\pm 0,0008) \times N_{\text{gjødning}} + 28(\pm 13) \times N_{\text{jord}}$$

$$E_{N_2O} = \text{kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$$

$$N_{\text{gjødning}} = \text{kg N tilført med gjødning ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$$

$$N_{\text{jord}} = \text{vekt\% nitrogen i jord}$$

En annen modell bruker Stehfest and Bouwman (2006) basert på beregningen nedenfor:

$$\text{Log } E_{N_2O} = A + \sum F_i$$

Faktorverdien F fastsettes for ulike forhold. Eksempel på faktorverdien se ruten nedenfor:

A = konstant (-1,5)

$$F_1 = 0,0038 * N_{\text{gjødning}}$$

$$F_2 = 0 < 1\%C \text{ og } = 0,05 \text{ om } 1-3\%C,$$

$$F_3 = -0,069 \text{ om pH } 5,5-7,3,$$

$$F_4 = 0 \text{ vid sandjord og } = 0,43 \text{ ved leirjord,}$$

$$F_5 = 0,02 \text{ om klimat tempererat-kyst,}$$

$$F_6 = 0 \text{ om korn og } = -0,35 \text{ om eng og } = 0,44 \text{ om annen vekst som raps,}$$

$F_7 = 1,99$ om experimentdata fra målinger gjennom et år.

Viktig i disse beregningene er at de tar sikte for høye lystgassutslipp når telen går ut av frossen jord mens mineralnitrogen i jorda er høyt. Høyt N_2O utslipp ved tining er imidlertid et svært variabelt fenomen og modellen har vist seg å overestimere N_2O utslipp i svensk leirholdige jord med lite N_2O utslipp ved tining (Kasimir Klemedtsson 2009). Dette viser at overføring av regresjonsmodeller basert på data fra kontinentet til skandinaviske forhold er svært dårlig. I et nystartet prosjekt, ledet av UMB. ("Increased value creation in food production through characterizing and mitigating emissions of greenhouse gases from agriculture in Norway") tilpasses en kanadisk regresjonsmodell (Janzen et al. 2006) for estimering av utslipp av drivhusgasser på gårdsnivå til norske forhold. Denne modellen vil så langt det er mulig bruke utslippsfaktorer basert på norske målinger.

10.5 Beregninger basert på prosessmodeller

Prosesorienterte modeller simulerer N_2O utveksling mellom bakken og atmosfære som en matematisk funksjon av agronomisk praksis og vær. Algoritmene kan være svært kompliserte i sin beskrivelse av fysiske, kjemiske og biologiske variabler som hver for seg og i kombinasjon styrer dannelse og transport av N_2O i bakken (Bakken and Dörsch, 2007). Særlig problematisk er beskrivelsen av anaerobisitet (fravær av oksygen) som best modelleres som en funksjon av jordas porøsitet, vanninnhold og mikrobiell oksygentæring (Schurgers *et al.* 2006). Ett annet kritisk aspekt er modellering av støkiometrien i denitrifikasjonsprosessen, dvs modellering av $N_2O:N_2$ forholdet som i seg selv er oksygenavhengig og svært variabel (Morley *et al.* 2008). Et tredje punkt er at plantevekst må simuleres riktig for å beskrive konkurranse for mineralisk nitrogen mellom planter og mikrober. Mange av de publiserte prosessmodellene er 'overparametriserte', dvs. krever overmåte detaljert informasjon om jordegenskaper, plantevekst, mikrobielle prosessvariabler, mm som er vanskelig å skaffe. I tillegg ser det ut at mange modeller er tilpasset (kalibrert) til de jordene de ble utviklet for. Å omkalibrere en modell for andre jord/klima/plantetyper kan være krevende, dvs. trenger detaljerte måleserier og det er langt fra gitt at modellen kommer å fungere tilfredsstillende.

I Sverige har man prøvd gjennom en årrekke å koble sammen det mye brukte amerikansk-tyske PnET-N-DNDC modell (Li *et al.* 1992, Li *et al.* 2000) med det svenske COUP modell (Norman *et al.* 2008). Coup (Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems) er opprinnelig en jordfysisk modell utviklet i Sverige med svenske jordfysiske data, og har blitt videreutviklet for å fungere for ulike jordbruksvekster (Jansson and Karlberg 2004). Planen er å kunne bruke modellen til å estimere lystgassutslipp fra ulike system, både i skogs og jordbruksjord på regional skala (Kasimir-Klemedtson 2009). Også i Norge bruker man COUP som en del av et dynamisk karbon og nitrogen modell (SPN: Soil Plant Nitrogen modell; (Bleken *et al.* 2009). SPN har nylig blitt utvidet til å simulere N_2O utslipp ved å implementere N-Gas modellen fra DayCent (Parton *et al.* 1996, DeGrosso *et al.* 2001). DayCent er en amerikansk modell som har blitt utviklet med data fra semiaride gressletter og det gjenstår å se om N-Gas modulen koblet til COUP-SPN klarer å simulere norske utslipps tilfredsstillende. Så langt foreligger det ingen planer å bruke dynamisk modellering på regional plan til nasjonal rapportering i Norge.

Bruk av prosessmodeller på regional nivå byr på flere utfordringer: dynamiske simuleringer må kjøres parallelt for forhåndsdefinerte homogene responsenheter mht klima, jordparametrene og dyrkningsforhold og detaljeringsgrad i en slik regional modellering kan ikke være bedre enn drivdataenes oppløsning. Siden dynamiske modeller responderer ikke- til de meste av drivvariablene, fører dette til aggregeringsfeil som kan resultere i en usikkerhet av opp til 10 ganger den modellerte verdien (Mulligan 2006).

Til tross for den så langt begrensede verdien av prosessmodeller for beregning av N₂O utslipp, er slike modeller et viktig verktøy for å teste mekanismer som påvirker N₂O dannelse og transport. Slik eksplorativ bruk av modeller kan være grunnlag for å utvikle dyrkningsstrategier som minsker N₂O utslipp men trenger, som all annet, forankring og validering i ekte måledata.

10.6 Nye beregningsmetoder - oppsummering

Norge bruker i dag Tier 1 metoden (IPCC 1997) til å rapportere N₂O utslipp fra landbruket. Unntak er mengde utvasket N som anslås til 18 % av tilført N i Norge, mens IPCC 1997 regner 30 % ved nedbøroverskudd.

For å gå fra Tier 1 til Tier 2 metoden trengs det regionaliserte, kvalitetssikrede utslippsfaktorer. Disse må basere seg på lokale utslippsmålinger. På sikt er det ønskelig å utvikle faktorer for direkte N₂O utslipp fra jord som er spesifikke for nitrogen som er bundet på ulike måter: N fra mineralisering av organisk materiale, N fra ulike kunstgjødseltyper, og N fra husdyrgjødsel. Mer kunnskap om tap av N i ulike produksjonssystemer ville gjøre det mulig å utvikle reduksjonsstrategier for norsk matproduksjon i sin helhet.

Det mangler data for N₂O-utslipp fra bløtgjødsellager under norske forhold (holder nok med bløtgjødsel da det er den desidert vanligste lagringsmåten i Norge, for fastgjødsel og biorest kan en bruke data fra andre land). Det trengs mer kunnskap om vekselvirkningseffekter mellom gjødseltype og ulike kulturer, ulike jordforhold (jordart, drenering, jordstruktur, pH) og klimaforhold (helårsmålinger) under norske forhold.

I tillegg til direkte utslipp fra jord krever Tier 2 kvantifisering av indirekte N₂O utslipp fra ammoniakk og utvasket nitrogen. Det trengs flere data på andel av tilført nitrogen som vaskes ut under norske forhold.

For å kunne anvende Tier 2 metoden på nasjonalt plan må det utvikles kartbasert dataverktøy som kobler sammen og tilgjengeliggjør informasjon om dyrkningspraksis og regionale naturgrunnlag på statistisk vis. Relevante norske fagmiljøer må samarbeide om dette.

Samlete kostnader for å skaffe fram nok datamateriale til å utvikle empiriske regionaliserte emisjonsfaktorer og dermed kunne løfte nasjonal N₂O rapportering fra landbrukssektoren i Norge fra Tier 1 til 2 er vanskelig å stipulere. Et grovt anslag er 10 årsverk i 5 år pluss driftsmidler.

11. Forskningsbehov

Forskningsbehovet kan deles i tre hovedgrupper; 1. Kvantifisering av N₂O utslipp, 2. Tiltak som reduserer utslipp av N₂O og 3. Helhetlige analyser som ser på tiltak og virkemidler i sammenheng. I dette kapitlet er det en mer detaljert gjennomgang av forskningsbehov knyttet til måling av lystgassutslipp. Slike målinger gir grunnlag for estimering av status på utslipp, regionale og sesong variasjoner og grunnlag for videre prioriteringer av tiltak. Slike målinger mangler i dag og er derfor omtalt spesielt. Forskningsbehov om agronomiske tiltak som det er mulig å sette inn er angitt mer i stikkordsform. Siden det er så stor grad av usikkerhet om kvantifisering av lystgassutslipp og så store variasjoner så er det generelt et behov for mer kunnskap om hvordan agronomisk praksis påvirker lystgassutslipp. I regi av NFR er satt i gang en utredning om kunnskapstatus "Bedre agonomi" i forhold til å vurdere jordbrukets muligheter for å følge opp reduksjonene i klimagasser. Utredningen forventes ferdig mars 2010. Også i de enkelte kapitlene i denne rapporten er forskningsbehov nevnt, men det har ikke vært en stor del av utredningen og vi henviser til den pågående utredning.

11.1 Kvantifisering av N₂O utslipp

Dette kan gjøres ved regelmessige helårsmålinger i sentrale landbruksområder ved ulike klima- og driftsforhold. Disse brukes til å underbygge beregning av region og driftspesifikke emisjonsfaktorer. De kan også brukes som grunnlag for regionale prosessmodeller, men slike modeller er enda svært usikre.

Det er usannsynlig at de gjeldende IPCC Tier 1 utslippsfaktorer for landbrukssektoren gir et realistisk bilde av faktiske N₂O utslipp i Norge; dette ikke minst fordi Norge med sine særskilte naturgeografiske forhold og driftsformer, så langt ikke har bidratt med data til de basisdata IPCC bruker. En nylig utgitt svensk rapport for eksempel antyder at IPCC Tier 1 metoden overestimerer N₂O årsutslipp fra dyrket mark i Sverige (Kasimir Klemedtsson 2009) dvs. at N₂O utslipp per enhet applisert nitrogen ser ut å være mindre i nordlige bredder enn på kontinentet. Om dette har å gjøre med spesifikke driftsformer, jordegenskaper eller er et hovedsakelig klimatisk fenomen (korte vegetasjonsperiode) kan ikke sies per i dag. Den nærliggende konklusjonen er at norske forskningsmiljøer burde iverksette koordinerte og regelmessige periodiske målinger i de sentrale landbruksområdene for å kartlegge N₂O utslipp og for å skaffe fram et minimum av egne data. Disse data bør i første omgang brukes til å overprøve gjeldende IPCC Tier 1 emisjonsfaktorer og andre empiriske tilnærminger.

I takt med stigende antall av målingsbaserte utslippsestimater fra ulike agronomiske situasjoner/regioner i Norge kan det tenkes å begynne å utvikle egne, regions- og driftspesifikke EFs (IPCC Tier 2). Denne tilnærmingen har imidlertid flere ulemper, først av alt at den trenger lang tid (> 10 år) og betydelig forskningsinnsats. Per i dag er det bare et prosjekt som måler N₂O utslipp fra norsk jord (Soil GHG – omtalt under direkte måling). Målinger i dette prosjektet er på langt nær nok til å få gode estimater på N₂O-utslipp fra mangfoldet av norske driftsformer og variasjoner i jord og klima. Norske målinger må derfor i stor grad suppleres med data fra andre

land med noenlunde tilsvarende klimatiske forhold (Sverige, Canada, Skottland), som igjen øker usikkerheten.

Internasjonalt jobbes det intenst med å bruke mikrometeorologiske metoder for kontinuerlige N₂O emisjonsregistrering over større arealer blant annet i Sverige, Canada og USA, i takt med at nye, hurtiggående laseranalyser (TDLs) for N₂O har kommet på markedet. I Norge derimot finnes det ikke noe tradisjon eller ekspertise for slike målinger. Det ville kreve en uforholdsmessig tung og konsertert innsats blant involverte forskningsmiljøer (NILU, Bioforsk, UMB) å få slike metoder etablert. Tidligere forsøk av enkeltpersoner fra nevnte forskningsmiljøer til å søke AVIT midler for mikrometeorologiske målesystemer har vist at institusjonenes holdning er svært avmålt når det gjelder denne vanskelige teknikken. Dette vitner en beklagelig faglig ignoranse hos forskningsledere og det er et berettiget spørsmål om den teknologiske bakevjen norske forskningsmiljøer har manøvrert seg i kan overvinnes i overkommelig tid. Det må nevnes her at mikrometeorologiske metoder er veletablert 'state of art' for andre klimagasser (CO₂ og CH₄) men også har er norske miljøer svært lite aktive.

For å gjøre det beste ut av den gitte situasjonen bør det derfor satses på et storstilt måleprogram med manuelle kammerer samtidig som man begynner å bygge opp kompetanse på mikrometeorologiske teknikker. Kammermetoden har fordelen at den kan generere relativt rask data fra et stort antall av forskjellige agronomiske behandlinger i ruteforsøk. Samtidig bør man prøve å forbedre kammermetoden dit hen at emisjonsratene måles oftere og på flere steder. Det hadde utvilsomt vært en fordel å automatisere kammermetoden. UMB har derfor utviklet planer for å bygge en ubemannet drone som setter kammerne automatisk på forhandsdefinerte (GPS) steder og analysere utslippsraten i feltet med hjelp av en hurtiggående analyser. Prosjektideen nyter internasjonal oppmerksomhet, men har så langt ikke fått støtte fra norske forskningsmyndigheter.

Økt generering av fluksdata i Norge ville etter all sannsynlighet også understøtte utvikling av prosessmodeller som er kalibrert og validert for norske forhold. Så lenge det ikke finns data simuleringene kan testes imot forblir prosessbasert modellering meningsløst. Når det gjelder regionalisering av modellkjøringer, hadde Norge hatt visse fordeler sammenlignet med andre land: landbruksarealer er forholdsmessig overskuelig og det finns gode databaser for jord og klimavariabler (bl.a. Bioforsk's jorddatabank, RegKlimes nedskaleringer osv.).

Sist bør målingene rasjonaliseres så godt det la seg gjøre. Mange potensielle innsparingstiltak lar seg faktisk prøve ut på laboratorieskala. Prosessforståelse rundt omkring N₂O genererende prosesser er svært godt og effekten av enkelttiltak slik som kalking, innarbeiding av høsterester, eller effekt av fangvekster på vinteremisjoner lar seg utforske med hjelp av avanserte laborietoppsett (Molstad *et al.* 2008, Mørkved *et al.* 2006 a, b). Det forblir imidlertid en utfordring å teste innsparingstiltak i en større sammenheng. Her må det nevnes mulige langtidseffekter av omløp, gjødsling, jordarbeiding og drenering, som bare kan registreres i feltforsøk. Dessuten er det viktig å se innsparingspotensialet på N₂O utslipp i sammenligning med utslipp av andre klimagasser slik som metanutslipp fra drøvtyggere og CO₂ nettotap fra jordens karbonlager, dvs. den endelige evaluering av innsparingstiltak må foretas med modeller som integrerer beregning av all veksthusgassutslipp i matproduksjon (LCA).

11.2 Tiltak som reduserer utslipp av N₂O

Hvordan påvirker frigjøring av nitrogen fra organisk materiale utslipp av lystgass under norske forhold? En bør kartlegge omfanget av dårlig drenert, strukturskadd og sur jord (låg pH). Og undersøke betydningen av dette for utslipp av N₂O fra norsk landbruk.

En må kartlegge hvilke tiltak kan påvirke/ redusere vekslende anaerobe/aerobe soner i jord og hvilke tiltak redusere perioder med høye konsentrasjoner av nitrat i jord.

En må få bedre oversikt over faktisk gjødslingsnivå og næringsbalanser i norsk landbruk på gards- og skiftenivå.

Videre må en undersøke agronomiske, økonomiske og miljømessige konsekvenser av å redusere N-gjødsling med 10-20 %.

En må få mer kunnskap om hvilke tiltak som kan medvirke til bedre utnytting av tilført nitrogen i ulike regioner. Og en må sørge for optimalisering av gjødslingsplanprogram som bidrar til dette.

Det må arbeides for å finne effektive og rimelige løsninger for spredning av husdyrgjødsel som sikrer maksimal utnytting av tilført gjødsel gjennom spredning til "rett" tid, som kan sikre fordeling av gjødsla over store deler av gårdens areal og som gir minimalt med tap av næringsstoff og minst mulig jordpakking.

11.3 Helhetlige analyser

Tiltak for å redusere utslipp av N₂O må sees i sammenheng med utslipp av andre klimagasser, matproduksjon og andre mål for norsk landbruk. Sentralt i dette arbeidet er også analyser av kostnadseffektivitet der det også er behov for videre kunnskap. I denne sammenhengen bør også bruken av virkemidler inngå.

12. Referanser

- AFA. 2007. International Fertilizer Industry Association, statistics (IFADATA), updated September 2007, <http://www.fertilizer.org/ifa/statistics.asp>
- Bakken, L. R. and Dörsch, P. 2007. Nitrous oxide emission and global changes: modelling approaches. Chapter 25 in *Biology of the Nitrogen Cycle*, Bothe H, Ferguson SJ, Newton WE (eds).pp 382-395 Elsevier (Amsterdam).
- Bouwman A.F. (1996) Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46: 53-70.
- Bleken, M., Herrmann, A., Haugen, L. E., Taube, F. and Bakken, L. R. 2009. SPN: A model for the study of soil-plant nitrogen fluxes in silage maize cultivation. *European Journal of Agronomy* 30: 283-295.
- Bouwman A.F. 1996. Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46: 53-70.
- Briseid, T., Grønland, A., Harstad, O. M., Garmo, T., Volden, H. og Morken, J. 2008. Klimagasser fra landbruket - Utslippsreduksjoner, forslag til mål, tiltak og virkemidler Bioforsk Rapport 3(9).
- Crutzen P.J., Mosier A.R., Smith, K. A. and Winiwarter, W. 2008. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics* 8: 389-395.
- Del Grosso, S.J., Parton, W.J., Mosier, A.R., Ojima, D.S., Kulmala, A.E. and S. Phongpan, S. 2000. General model for N₂O and N₂ gas emissions from soils due to denitrification. *Global Biogeochemical Cycles* 14:1045-1060.
- Ferguson, R. B., Hergert, G. W., Schepers, J.S., Gotway, C. A., Cahoon, J. E., Peterson, T. A. 2002. Site-specific nitrogen management of irrigated maize: Yield and soil residual nitrate effects. *Soil Science Society of America Journal* 66, 544-553.
- Flatvad, R. D., Holt, V. og Solberg, C. 1996. Nitrogen i melkeproduksjon – et nitrogenregnskap. Høgskolen i Hedmark, LNB. 123 s.
- Freibauer A. 2003. Regionalised inventory of biogenic greenhouse gas emissions from European agriculture. *European Journal of Agronomy* 19; 135-160.
- Freibauer A. and Kaltschmitt, M. 2003. Controls and models for estimating direct nitrous oxide emissions from temperate and sub-boreal agricultural mineral soils in Europe. *Biogeochemistry* 63; 93-115.
- Friis, E. and Knudsen, L. 1999. N-fertilisation strategies in precision agriculture. *Nordisk Jordbruksforening* 81, 77-81.
- Fystro, G., Abrahamsen, S. og Lunnan, T. 2005. Utvikling av nye metoder for gjødslingsplanlegging. Kari Munthe (ed), *Plantemøtet Østlandet 2005*. Grønn kunnskap 9(2); 52-58
- Gundersen, G. I. og Rognstad, O. 2001. Lagring og bruk av husdyrgjødsel. *Rapporter 2001/39*. Statistisk Sentralbyrå. 47 sider.
- IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- James, I. T. and Godwin, R. J. 2003. Soil, water and yield relationships in developing strategies for the precision application of nitrogen fertiliser to winter barley. *Biosystems Engineering* 84, 467-480.
- Janzen, H. H., Angers, D. A., Boehm, M., Bolinder, M., Desjardins, R. L., Dyer, J. A., Ellert, B. H., Gibb, D. J., Gregorich, E. G., Helgason, B. L., Lemke, R., Masse, D., McGinn, S. M., McAllister, T. A., Newlands, N., Pattey, E., Rochette, P., Smith, W., VandenBygaart, A. J., and Wang, H. 2006. A proposed approach to estimate and reduce net greenhouse gas emissions from whole farms. *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 86, no. 3, pp. 401-418.
- Jansson, P. E. and Karlberg, L. 2004. Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. Royal Institute of Technology, Dept. of Land and Water Resources Engineering Stockholm, Sweden, Publication 427.

- Hansen, S., Mæhlum, J. E. og Bakken, L. R. 1993. N₂O and CH₄ fluxes in soil influenced by fertilization and tractor traffic. *Soil Biol. Biochem.* 25:621-630.
- Kasimir Klemetsson Å. 2009. Hur mycket lustgas blir det vid odling av biobränslen på åkermark i Sverige? www.energimyndigheten.se (under trykking)
- Koch, B., Khosla, R., Frasier, W. M., Westfall, D. G. and Inman, D. 2004. Economic feasibility of variable-rate nitrogen application utilizing site-specific management zones. *Agronomy Journal* 96, 1572–1580.
- Korsaeth, A. and Riley, H. 2005. Estimation of economic and environmental potentials of variable rate versus uniform N fertilizer application to spring barley on morainic soils in SE Norway. *Precision Agriculture* 7: 265-279.
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). <http://www.ktbl.de/index.php?id=792>
- Li, C. S., Frolking S. and Frolking, T. A. 1992. A model of nitrous-oxide evolution from soil driven by rainfall events. 1. Model structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 97, 9759-9776.
- Li, C., Aber J. D., Stange F., Butterbach-Bahl K. and Papen, H 2000 A process-oriented model of N₂O and NO emissions from forest soils. 1. Model development. *Journal of Geophysical Research* 105, 4369-4387.
- Morley, N., Baggs, E. M, Dörsch, P. and Bakken, L.R. 2008. Production of NO, N₂O and N₂ by extracted soil bacteria, regulation by NO₂ and O₂ concentrations. *FEMS Microbiology Ecology*, 65, 102-112
- Molstad, L., Dörsch, P. and Bakken, L.R. 2007. Robotized incubation system for monitoring gases (O₂, NO, N₂O, N₂) in denitrifying cultures. *J. Microbiol. Methods* 71, 202-211
- Mørkved, P. T. 2006. Environmental controls of terrestrial N₂O sources. PhD thesis 2006:21. Universitetet for Miljø- og Biovitenskap.
- Mørkved, P.T., Dörsch, P. and Bakken, L.R. 2006a. The nitrification product ratio N₂O/(NO₃⁻+NO₂⁻) in soil and its dependence on soil pH. *Soil Biol. Biochem.* 38, 3411-3420
- Mørkved, P.T., Dörsch, P., Henriksen, T. M. and Bakken, L.R. 2006b. N₂O emissions and product ratios of nitrification and denitrification as affected by freezing and thawing. *Soil Biol. Biochem.* 38:3411-3420
- Mulligan, D. T. 2006. Regional modelling of nitrous oxide emissions from fertilised agricultural soils within Europe, PhD thesis, Bangor: University of Wales, 2006.
- Norman, J., Jansson, P.E., Farahbakhshazad, N., Butterbach-Bahl, K., Li, C. S. and Klemetsson, L. 2008. Simulation of NO and N₂O emissions from a spruce forest during a freeze/thaw event using an N-flux submodel from the PnET-N-DNDC model integrated to CoupModel. *ECOLOGICAL MODELLING*, 216 (1): 18-30
- Parton, W. J., Mosier, A.R., Ojima, D.S., Valentine, D.W. Schimel, D.S., Weier, K. and Kulmala. A.E. 1996. Generalized model for N₂ and N₂O production from nitrification and denitrification. *Global Biogeochemical Cycles* 10:401-412.
- Riley, H. 1996. Gjødelsplanlegging i korn og potet. Nye normtall. *Faginfo* nr. 1, p. 20-29.
- Riley, H., Hoel, B., Kristoffersen, A.Ø. og Tandsæther, H. 2002. N-gjødsling til korn: Anbefalinger og praksis. *Grønn Forskning* 1/2002, p. 75-80.
- Schurgers, G., Dörsch, P., Bakken, R. L., Leffelaar, P., and Haugen, L. E. 2006. Modelling soil anaerobicity from water retention characteristics and soil respiration. *Soil Biol. Biochem.* 38, 2637-2644
- Sitaula, B. K., Hansen, S., Sitaula, J. I. B., and Bakken, L. R. 2000. Effects of soil compaction on N₂O emission in agricultural soil., *Chemosphere: Global Change Science*, vol. 2, pp. 367-371.
- Spahni, R. 2005. Atmospheric Methane and Nitrous Oxide of the late Pleistocene from Antarctic Ice Cores. *Science* 320:1317-1321.
- Statens forurensningstilsyn. 1999. Reduksjon av utslipp av ammoniakk i Norge. Tiltak og kostnader. Rapport 99:10.
- Statens landbruksforvaltning. 2009. Norsk landbruk – en situasjonsbeskrivelse 2009. Rapport nr. 11/2009
- Stehfest E. and Bouwman, L. 2006. N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modelling of global emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74; 207-228. Data finns att hämta: <http://www.mnp.nl/en/publications/2006>.

- Stornes, O. K. 2004. Økonomiforsøk om blåbær, nydyrking og grøfting. Notat nr. 2004-30. Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning
- Stornes, O. K. 2008. Ammoniakkutslipp fra jordbruket. Ulike måter å spre husdyrgjødsel på. Notat nr. 2008-1. Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning
- Swinton, S. M. and Lowenberg-DeBoer, J. 1998. Evaluating the profitability of site-specific farming. *Journal of Production Agriculture* 11, 439–446.
- Walley, F., Pennock, D., Solohub, M. and Hnatowich, G. 2001. Spring wheat (*Triticum aestivum*) yield and grain protein responses to N fertilizer in topographically defined landscape positions. *Canadian Journal of Soil Science* 81, 505–514.
- Wibawa, W. D., Dlodlu, D. L., Swenson, L. J., Hopkins, D. G. and Dahnke, W.C. 1993. Variable Fertilizer Application Based on Yield Goal, Soil Fertility, and Soil Map Unit. *Journal of Production Agriculture* 6, 255–261.

13. Vedlegg.

Oversikt over vedlegg

Nr Emne

- 1 Vedlegg I. Data og metodikk som er brukt ved beregning av kostnader for ulike spredeteknikker (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, KTBL).
-

Vedlegg I. Data og metodikk som er brukt ved beregning av kostnader for ulike spredeteknikker (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, KTBL).

SAMMENLIKNING AV KOSTNADER FOR SPREDNINGSTEKNIKKER FOR HUSDYRGJØDSEL				
forklaring		Breispredning	Stripespredning	Nedfelling
a	Antall bruk om hver spredeenhet	3	3	5
b	Investeringskostnad	155000	320000	845000
c (=b/a)	Investeringskostnad per bruk	51667	106667	169000
d	Avskrivningstid spredeutstyr	15	15	15
e (=c/d)	Avskrivninger per bruk og år	3444	7111	11267
f (c/2*0,04)	Rentekrav 4% (forenklet annuitet)	1033	2133	3380
g	Vedlikehold traktor per time	53	53	63
h (g*l)	Vedlikehold traktor per bruk	1837	1458	2184
i	Vedlikehold utstyr per kbm. husdyrgj.	2,77	5,54	8,31
j (=i*t)	Vedlikehold utstyr per bruk	1440	5762	4321
k	Drivstoffkostnad per time (6 kr/l)	48	48	94
l (t/r)	Traktortimer per bruk	34,7	27,5	34,7
m (k*l)	Drivstoffkostnad per bruk	1664	1320	3259
n	Arbeid, timer/daa	34,6	29,0	69,0
o	Arbeidskostn. per time	150	150	150
p (=n*o)	Arbeidskostnad per bruk	5190	4350	10350
e+f+h+j+m+p)	Sum bruttokostnad per bruk og år	14610	22134	34761
	Spredekap. kbm gjødsel per time	15	80	15
	Mengde ublandet husdyrgjødsel kbm. per bruk	520	520	520
	Spredd mengde, kbm. husdyrgjødsel per bruk	520	1040	520
	Spredd mengde, kbm per daa	2	4	2
	Virkningsgrad, N i husdyrgjødsel, %	40	70	80
r	Pris per kg Fullgjødsel 22-2-12	2,48	2,48	2,48
s = (r/0,22)	Pris per kg nitrogen	11,27	11,27	11,27
	Areal per bruk, daa	260	260	260
	Areal per spredeutstyrsenhet, daa	780	780	1300
	Ammonium-N per kbm ublandet storfegjødsel	2,3	2,3	2,3
	Ammonium-N per kbm spredd storfegjødsel	2,3	1,15	2,3
	Tilgj. ammonium-N per kbm spredd storfegjødsel	0,92	0,81	1,84
	Tilgj. ammonium-N per daa spredd storfegjødsel	1,84	3,22	3,68
	Ammonium-N per kbm ublandet grisegjødsel	4,2	4,2	4,2
	Ammonium-N per kbm spredd grisegjødsel	4,2	2,1	4,2
	Tilgj. ammonium-N per tonn spredd grisegjødsel	1,68	1,47	3,36
	Tilgj. ammonium-N per daa spredd grisegjødsel	3,36	5,88	6,72
	Spart amm.-N per daa ift. breispredning, storfegj.		1,38	1,84
	Spart kg Fullgjødsel 22-2-12 per daa		6,39	8,52
	Spart gjødselkostnad per daa ift. breispredning, storfegj.		15,56	20,74
	Spart amm.-N per daa ift. breispredning, grisegj.		2,52	3,36
	Spart kg Fullgjødsel 22-2-12 per daa		11,67	15,56
	Spart gjødselkostnad per daa ift. breispredning, grisegj.		28,41	37,88

Pga. avrundinger og noen forenklinger er det noen avvik mellom tallene her og beregningene i rapporten.