



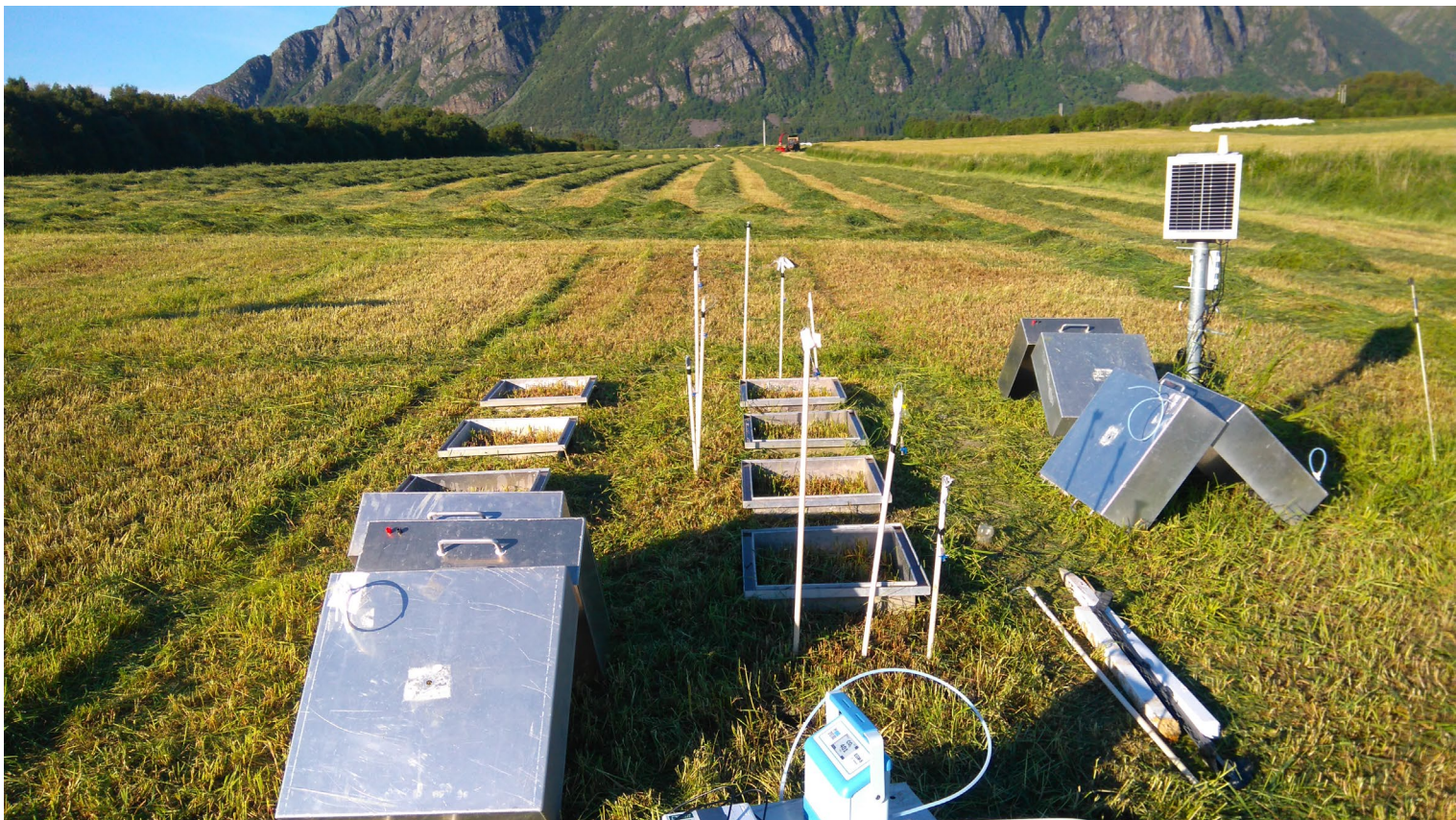
NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Betre metodikk for estimering av lystgassutslepp frå dyrka mark brukt i nasjonal rapportering

Resultat frå forprosjekt

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



Synnøve Rivedal og Anders Wæraas Aune
Divisjon for matproduksjon og samfunn, avdeling fôr og husdyr

TITTEL/TITLE

Betre metodikk for estimering av lystgassutslepp frå dyrka mark brukt i nasjonal rapportering

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Synnøve Rivedal og Anders Wæraas Aune

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
06.02.2019	5/5/2019	Open	11394	18/01602
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02250-3	2464-1162	29		

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Miljødirektoratet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Maria Malene Kvalevåg

STIKKORD/KEYWORDS:Klimagassrekneskap, jordbruk, nitrogengjødning,
Tier 1, Tier 2Greenhouse gas inventory, N₂O-emissions,
agriculture, N-fertilisers, Tier 1, Tier 2**FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:**

Klimagassutslepp - jordbruk

Greenhouse gas emissions - agriculture

SAMMENDRAG/SUMMARY:

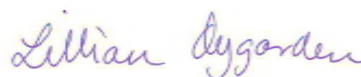
Rapporten gjev ei oversikt over metodikk for rapportering av lystgassutslepp brukt i nokre utvalde land, og ei vurdering av om dette er aktuelt for Norge. Rapporten omhandlar vidare korleis Norge kan gå frå Tier 1 standard utsleppsfaktor til nasjonal utsleppsfaktor Tier 1 for direkte lystgassutslepp frå tilført nitrogen i mineralgjødning og husdyrgjødning på jordbruksareal. Rapporten vurderer også om det er mogleg for Norge å gå frå Tier 1 til Tier 2 i utsleppsrekneskapen. Eit meir detaljert samandrag finn ein på side 5 i rapporten.

LAND/COUNTRY:

Norge

GODKJENT /APPROVED

JANNES STOLTE

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

LILLIAN ØYGARDEN

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Føreord

Denne rapporten er utarbeidd på oppdrag frå Miljødirektoratet, avtalennummer 18088023. Bakgrunnen for oppdraget er at Landbruks- og matdepartementet i desember 2017 oppretta eit teknisk berekningsutval for jordbruket (TBU). Utvalet skal gje faglege råd om korleis eksisterande utrekningar av utslepp og rapporteringsrutinar for det norske utsleppsrekneskapet kan betrast. Utvalet skal også sjå nærare på metodar for korleis jordbruket sitt samla utsleppsrekneskap kan vidareutviklast og synleggjerast betre. Utvalet er sett saman av representantar frå fleire departement, næringsorganisasjonane i jordbruket og fagekspertar, og skal avlevere sitt arbeid 1.7.2019.

Denne rapporten er resultat av eit forprosjekt avgrensa til å gje informasjon om kva som må til for å få betre metodikken brukt til å estimere N₂O-utslepp frå jordbruksjord. Forprosjektet er vidare avgrensa til ei vurdering av direkte utslepp frå mineralgjødsel og husdyrgjødsel.

I arbeidet med rapporten har vi fått kommentarar og innspel frå Peter Dörsch (NMBU), Sissel Hansen (NORSØK), Lillian Øygarden, Samson Øpstad og Aina Lundon Russenes (NIBIO).

Fureneset, 06.02.19

Synnøve Rivedal

Innhald

1	Samandrag.....	5
2	Innleiing	6
3	Metodikk brukt i utvalde land	7
3.1	Irland.....	7
3.2	Nederland	8
3.3	Storbritannia.....	10
3.3.1	Mineralgjødtsel	10
3.3.2	Husdyrgjødtsel.....	11
3.4	Canada	11
3.5	USA	13
3.6	Overføringsverdi til Norge	14
4	Frå Tier 1 standard utsleppsfaktor til Tier 1 nasjonal faktor i Norge	15
4.1	Resultat frå feltforsøk i korn.....	15
4.2	Resultat frå feltforsøk i eng	16
4.3	Heilårsmålingar.....	17
4.4	Er det mulig å utvikle ein nasjonal utsleppsfaktor i Norge?	18
4.5	Nye forsøk for å utvikle nasjonal utsleppsfaktor	19
4.5.1	Forslag til nye feltforsøk i korn.....	20
4.5.2	Forslag til nye feltforsøk i eng	20
5	Frå Tier 1 til Tier 2 i Norge	23
5.1	Mineralgjødtsel/husdyrgjødtsel.....	24
5.2	Eng/korn	24
5.3	Organisk jord/mineraljord	24
5.4	Nedbør.....	25
5.5	Jordforhold mineraljord	25
5.6	Prioriteringar	25
5.7	Venta justeringar til rettleiaren frå IPCC	25
6	Litteraturreferansar	27

1 Samandrag

Denne rapporten er utarbeidd på oppdrag frå Miljødirektoratet. Oppdraget var delt i tre delar og resultatane frå dei ulike delane er kort oppsummert under.

1) Gjennomgang av andre europeiske land sin utsleppsrekneskap viste at det berre var Irland, Nederland og Storbritannia som brukte andre utsleppsfaktorar enn IPCC sin standard på 1% av tilført nitrogen. I tillegg til desse valde ein å undersøke Canada og USA sine metodar.

Irland brukar nasjonal utsleppsfaktor (EF) Tier 1 for direkte lystgassutslepp frå nitrogen (N) i handelsgjødsel. EF er differensiert mellom gjødseltypar og mellom åker og eng. Nederland brukar ei blanding mellom nasjonal EF Tier 1 og Tier 2 for lystgassutslepp frå N i mineralgjødsel og husdyrgjødsel. Det er skilt mellom mineralgjødsel og husdyrgjødsel og mellom spreiemetodar for husdyrgjødsel. Det er også skilt mellom mineraljord og organisk jord, i tillegg til mellom eng og åker. Storbritannia sin Tier 2 metodikk differensierer mellom mineralgjødsel og husdyrgjødsel. Mineralgjødsel blir igjen delt mellom urea og andre gjødselslag (ammoniumnitrat), der EF for ammoniumnitrat blir rekna ut med ein formel som tek omsyn til årsnedbør. Blautgjødsel og fastgjødsel har kvar sine EF. Canada brukar ein meir avansert Tier 2-modell for begge gjødseltypar med inndeling i økodistrikt/-regionar som tek omsyn til nedbør, topografi, geologi, jord, vegetasjon m.m. USA brukar ein prosessbasert, biokjemisk modell (DAYCENT) for å estimere utslepp av lystgass frå ulike åkervekstar dyrka på mineraljord og frå ein del av engarealet (Tier 3).

Av dei landa vi har gått gjennom meiner vi at metodikken brukt i Nederland og Storbritannia har størst overføringsverdi til Norge. Ein bør også ha kontakt med andre nordiske land der metodikk for utsleppsrekneskap er under utvikling, t.d. Danmark.

2) Norge har ikkje tilstrekkeleg med data frå feltforsøk til å gå frå Tier 1 standard utsleppsfaktor til nasjonal faktor. **Det er behov for 3-4 feltforsøk i korn med plassering på Austlandet og i Trøndelag, og minimum 5 feltforsøk i eng med plassering i ulikt klima og på ulike jordartar (Rogaland, Sogn og Fjordane, Oppland, Trøndelag og Nordland).** Engfelta må gjødslast med både husdyrgjødsel og mineralgjødsel for å estimere EF for begge gjødselslag. Det er nødvendig med ei grundig vurdering gjort av ei tverrfagleg gruppe før etablering av felta for å få ei representativ plassering i forhold til klima, jord, dreneringsforhold, pH, engalder og botanisk samansetning i enga. Det er også viktig med standardisering av metoden for å gjennomføre feltforsøka.

3) Ved å gjennomføre feltforsøka som er skisserte i del 2 av oppdraget vurderer vi at det også er **mogleg å gå frå Tier 1 til Tier 2. Det er realistisk å utvikle ein modell som differensierer mellom mineralgjødsel og organisk gjødsel, mellom eng og korn og mellom organisk jord og mineraljord.** Ynskjer ein å skilje mellom mineraljord og organisk jord, må ein utvide med feltforsøk på næringsrik myr. Ein modell som tek omsyn til nedbør og ulike jordforhold vurderer vi som lite realistisk utifrå ressursane som må settast inn både for å skaffe aktuelle utsleppsfaktorar og aktivitetsdata.

2 Innleiing

Direkte utslepp av lystgass (N_2O) frå jordbruksjord utgjer ein betydeleg del av utsleppa frå jordbruket som årleg blir rapportert til FN sitt klimapanel (IPCC). For 2016 blei det rapportert 1,7 megatonn rekna i CO_2 -ekvivalentar, som utgjorde 37% av utsleppa av drivhusgassar frå jordbrukssektoren (Norge NIR 2018). Ein vesentleg del av N_2O -utsleppet stammar frå tilført nitrogen (N) i form av mineralgjødning og husdyrgjødning, høvesvis 11 og 7% av jordbruket sitt klimagassutslepp. I dag brukar vi i det norske utsleppsrekneskapet ein enkel standardfaktor foreslått fra IPCC som tilsvarar at 1% av tilført N går over til N_2O -N. I rekneskapet er N tilført i form av mineralgjødning henta frå Mattilsynet si årlege oversikt over omsett mengde gjødning, korrigert for mineralgjødning brukt til skog. N i husdyrgjødning blir rekna ut på bakgrunn av årleg dyretal av Statistisk Sentralbyrå, med bakgrunn i søknad om produksjonstilskot og Kukontrollen (Tine). Mengda blir redusert tilsvarande tida dyra er på beite på bakgrunn av registreringar i Kukontrollen, utvalsundersøkingar og ekspertvurderingar.

Det er usikkert kor godt standardfaktoren gjenspeglar faktiske utslepp under våre forhold. Dette er bakgrunnen for ønskje om å vurdere om det er mulig å raffinere utrekningsmetodikken for utslepp av N_2O fra dei to dominerande N-kjeldene, mineralgjødning og husdyrgjødning, i tråd med rettleiaren frå IPCC (IPCC, 2006). Fleire andre land har tatt desse utrekningane opp til eit nivå over den enkle 1% standardfaktoren. Det er dermed naturleg å sjå korleis desse landa har løyst dette og kva slags dokumentasjon som ligg bak.

Rettleiaren frå IPCC delar utrekningsmetodikken opp i nivåa, Tier 1, Tier 2, og Tier 3, alt etter kor finmaska og dynamisk utrekningane blir gjort. Det er ønskjeleg at dei rapporterte utsleppa gjenspeglar dei faktiske utsleppa så godt som mogleg. Dette kan ein oppnå ved ein betre utrekningsmetodikk, dersom faktiske utslepp avvik frå det som blir utrekna på det enklaste nivået. Samtidig kan ein betre utrekningsmetode medføre lågare usikkerheit og lettare fange opp eventuelle endringar i praksis som har betydning for utsleppet, og på den måten kunne sei meir om utviklinga. Norge har eit godt dokumentert jordbruk med store mengder registrerte data som gjer det mogleg å raffinere utrekningsmetodikken.

I oppdraget frå Miljødirektoratet skulle følgjande tre spørsmål svarast på:

1) Kva slags metodikk for å rekne ut direkte lystgassutslepp frå dyrka mark blir brukt i rapporteringa til andre land, og kan nokre av desse landa sin metodikk ha overføringsverdi til Norge?

Det var krav om å velje minst fire land.

2) Korleis kan Norge gå frå å bruke Tier 1 standard utsleppsfaktor frå IPCC til nasjonal faktor Tier 1?

Under dette punktet skulle det gjerast greie for kva slags faktorar som er vesentlege å ta omsyn til, og eventuelt behov for forsøk og undersøkingar, for å komme fram til ein spesifikk faktor for norske forhold.

3) Korleis kan Norge gå fra Tier 1 til Tier 2?

Under dette punktet skulle mulegheitene for å bruke Tier 2 modellen fra IPCC-rettleiaren vurderast opp mot norske forhold og tilgang på aktuelle aktivitetsdata og utsleppsfaktorar. Dette skulle også gjerast med omsyn til venta revidering av rettleiaren i 2019.

I denne rapporten er det valt ut og gjennomgått metodikk og bakgrunn fra dei fem landa, Irland, Nederland, Storbritannia, Canada og USA. Med bakgrunn i denne gjennomgangen er det vurdert om liknande betringar i metodikk for utrekning av nasjonale lystgassutslepp frå mineralgjødning og husdyrgjødning brukt på jordbruksareal kan gjennomførast i Norge.

3 Metodikk brukt i utvalde land

Ved gjennomgang av andre europeiske land si rapportering av lystgassutslepp fann vi at det berre var Irland, Nederland og Storbritannia som brukte andre faktorar enn IPCC sin standard på 1% av tilført nitrogen frå mineralgjødning og husdyrgjødning på jordbruksareal. Vi gjekk vidare med å undersøke metodikken brukt i desse landa. I tillegg har vi sett nærmare på Canada, som brukar Tier 2 metodikk, og USA, som brukar Tier 3-metodikk. Tabell 2.1 viser gjennomsnittleg, vekta utsleppsfaktor (IEF) brukt i 2018 for desse landa samanlikna med Norge. Når IEF ikkje er oppgitt for USA kjem det av at utsleppsfaktoren blir modellert for ulike vekstar i ulike distrikt.

Tabell 2.1 Oversikt over IEF (implied emission factor) for kg N₂O-N/kg N tilført frå ulike gjødselkjelder i sammenlikningsland nytta i 2018:

Gjødselslag	Norge	Irland	Nederland	Storbritannia	Canada	USA
kg N ₂ O-N/kg N						
1. Mineralgjødning	0,010	0,012	0,013	0,007	0,009	NE
2. Organisk gjødning	0,010	0,010	0,009	0,005	0,012	0,204
a. Husdyrgjødning	0,010	0,010	0,009	0,005	0,012	NE
b. Biorest	0,010	0,010	0,009	0,010	NE	0,010
c. Andre organiske gjødselslag	0,010	NO	0,004	NO	NE	NE

3.1 Irland

Irland brukar nasjonal utsleppsfaktor (EF) Tier 1 for direkte lystgassutslepp frå nitrogen (N) i handelsgjødning (Ireland NIR 2018). Det er tre typar nitrogengjødning på den irske marknaden: kalsium ammoniumnitrat (CAN), urea (CH₄N₂O) og urea med ureasehemmar. I 2016 utgjorde CAN 85%, urea 14,4% og urea med ureasehemmar 0,5% av den totale omsetninga av N-gjødning i Irland. Ei ulempe med urea er at gjødsla er meir utsett for ammoniakktap under og etter spreiding, og at den fører til CO₂-utslepp. Men det er funne lågare lystgassutslepp ved bruk av urea enn ved bruk av CAN, særleg i mildt og vått klima på jord med høgt innhald av organisk materiale. Dei irske , gjødselspesifikke utsleppsfaktorane for eng bygger på ein forsøksserie av Harty et al. (2016) der effekten av ulike gjødseltypar på lystgassutslepp vart undersøkt ved hjelp av feltforsøk på eng brukt til beite på tre ulike lokalitetar med ulike jord- og klimaforhold i Irland. Forsøka gjekk over 2 år (2013 og 2014) på kvar lokalitet, men vart flytta til eit nytt forsøksareal etter første året for å unngå etterverknadseffekt frå året før. På kvart forsøksareal vart det gjennomført lystgassmålingar ved hjelp av kammermetoden over 12 månader. På den eine lokaliteten (Hillsborough, Co. Down) var enga over 20 år gammal i begge forsøksåra, medan enga på lokaliteten Moorepark, Co. Cork var sådd til tre og fire år før forsøka starta. På lokaliteten Johnstown Castle, Co. Wexford var enga sådd til tre og eitt år før forsøka starta. Det vart brukt ei gjødselmengde på 200 kg N/ha fordelt på 5 gjødslingar og eit randomisert blokkdesign med fem gjentak. Gjødseltypane som vart testa var: CAN, Urea, Urea+NBPT (n-butyl thiophosphoric triamide), Urea+DCD (Dicyandiamide), (Urea+ NBPT+DCD). DCD hemmar nitrifiserande bakteriar slik at nitrogenet er lenger i forma ammonium (NH₄*). Ammonium blir bunde i jord slik at ein taper mindre nitrogen på grunn av denitrifikasjon og gjennom avrenning, og aukar N-effektiviteten ved bruk av DCD. NBPT er ein ureasehemmar som hemmar hydrolyse av urea til ammoniumkarbonat og dermed reduserer ammoniakktapet. Det var med eit kontrollledd utan gjødsling, og lystgassutslepp frå ugjødsla ledd vart trekt frå ved utrekning av utsleppsfaktorane for dei ulike gjødseltypane. Dei irske utsleppsfaktorane for dei ulike gjødseltypane er gjennomsnitt over dei

tre lokalitetane og dei to åra med feltforsøk (Tab. 2.2). Utsleppsfaktoren for CAN ligg over IPCC sin standardfaktor, medan den for Urea og Urea med NBPT ligg under.

Dei irske, gjødselsesifikke utsleppsfaktorane for lystgassutslepp frå åker er estimert ved hjelp av feltforsøk i vårbygg av Roche et al. (2016). Feltforsøket var lokalisert i Marshalstown, Co. Wexford, hovudregionen for dyrking av bygg til malt i Irland, og på jord som er representativ for åkerbruk i Irland. Lystgassmålingane vart gjort frå april 2013 til april 2015, slik at ein fekk to heile år frå såtidspunkt til såtidspunkt året etter til å rekne samla utslepp for. Det vart brukt eit randomisert blokkdesign med fem gjentak der ein testa dei same gjødseltypane som i forsøket på eng, men i tillegg Urea + MICO i året 2014. MICO inneheld både urea- og nitrifikasjonshemmarar. Alle gjødseltypar vart brukte i den anbefalte mengda 150 kg N/ha. I tillegg testa ein effekten av N-mengder frå 100 til 200 kg N/ha for gjødseltypane CAN og Urea, men ein fekk ikkje eintydige svar på korleis N-mengde påverka utsleppsfaktoren for lystgass. Dei nasjonale utsleppsfaktorane for åker som Irland brukar er gjennomsnittet av resultatata for dei to åra forsøket vart gjennomført, og ligg alle under IPCC sin standard utsleppsfaktor (Tab. 2.2). Urea med nitrifikasjonshemmar åleine eller i lag med ureasehemmar gav lågare utsleppsfaktorar (0,0013-0,0018) enn dei gjødseltypane som er i handelen. For CAN vart det kalkuert ein utsleppsfaktor som tek omsyn til forholdet mellom gras- og åkerareal (92:8) (Tab. 2.2).

Tabell 2.2. Gjødselsesifikk utsleppsfaktor (EF₁) for direkte N₂O-utslepp frå mineralgjødsel, kg N₂O/kg N (Kjelde: Annex 3.3.F. Ireland NIR 2018).

Gjødseltype	Utsleppsfaktor eng	Utsleppsfaktor åker	Kombinert utsleppsfaktor
	(grassland)	(arable)	
EF ₁ kg N ₂ O-N/kg N			
CAN	0,0149	0,0035	0,0140
Urea	0,0025	0,0027	0,0025
Urea+NBTP	0,0040	0,0020	0,0040

Irland brukar IPCC standard utsleppsfaktor Tier 1 for direkte N₂O-utslepp frå husdyrgjødsel og det er derfor ikkje nærmare omtalt her.

3.2 Nederland

I Nederland blir det brukt ei blanding mellom nasjonal utsleppsfaktor Tier 1 og Tier 2 for lystgassutslepp frå nitrogen i mineralgjødsel og husdyrgjødsel (Nederland NIR, 2018). Utrekningsmetodane er omtalt i Vonk et al. 2018. I rekneskapen inngår aktivitetsdata som produsert mengde husdyrgjødsel, statistikk over omsett mengde N-gjødsel, arealbruk og jordtyper. Data hentar ein frå Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). Både for mineralgjødsel og husdyrgjødsel blir det brukt vekta gjennomsnittlege utsleppsfaktorar etter aktivitet, basert på eigne faktorar som skil mellom jordtypane mineraljord og organisk jord, og arealbruken gras og åker (Tabell 2.3). Utslepp frå husdyrgjødsel blir rekna ut for dei to spreimetodene, overflatespreidd og innarbeidd i jorda. Etter påbod om at husdyrgjødsel skal innarbeidast i jorda frå 1991, har dette vore den dominerande spreimetoden. 15% av jordbruksarealet i Nederland ligg på organisk jord, og blir i hovudsak nytta til grasdyrking (Velthof og Mosquera, 2011).

Utsleppsfaktorane for tilført mineralgjødsel og husdyrgjødsel på mineraljord, og mineralgjødsel på organisk jord, baserer seg på ein database over nederlandske feltforsøk (Velthof og Mosquera, 2011).

For å rekne ut utsleppsfaktoren etter tilført N-gjødsel var det eit kriterie at forsøka hadde med målingar frå ugjødsle ledd for å bli inkludert i databasen. Databasen inneheld totalt 153 utsleppsfaktorer der dei fleste (130) var på bakgrunn av målingar som varte ein heil vekstsesong (ca. 6 mnd). I databasen er det rekna ut ein utsleppsfaktor for kvart år og for alle forsøksledda. Husdyrgjødsel inkluderer gjødsel frå storfe og gris. Tilførsel av ulike N-gjødselslag og mengder er testa på ulike lokalitetar, på ulike jordartar og både til åker og eng. Overflatespreidd husdyrgjødsel, husdyrgjødsel innblanda i jorda og CAN-gjødsel, som er dominerende N-gjødselslag, er sammenlikna spesielt. Dette har vist at nedfelling av husdyrgjødsel, som er dominerande i Nederland, medfører eit høgare direkte utslepp av N₂O. Skilnader mellom ulike faktorar i databasen er undersøkt statistisk. Resultatet av dette er bakgrunnen for oppdelinga etter jordtype, arealbruk og N-gjødseltype som er vist i tabell 2.3.

Tabell 2.3 Utsleppsfaktorar for direkte N₂O-utslepp frå N i mineralgjødsel og husdyrgjødsel, kg N₂O-N/kg N (Kjelde: (Annex 10, Nederland NIR 2018).

		Gras	Åker	Vekta snitt over arealbruk og jordtypar
Mineralgjødsel	Alle jordtyper			0,013
	Mineraljord	0,008	0,007	
	Organisk jord	0,03	N/A	
Innarbeidet husdyrgjødsel¹	Alle jordtyper			0,009
	Mineraljord	0,003	0,0013	
	Organisk jord	0,01	N/A	
Overflatespreidd husdyrgjødsel	Alle jordtyper			0,004
	Mineraljord	0,001	0,006	
	Organisk jord	0,005	N/A	

¹ Inkluderer spreimetoder som gir lågare utslepp av NH₃ i forhold til breiispreiing, som nedfelling og nedpløying.

Utsleppsfaktoren for organisk jord for mineralgjødsel vart ved hjelp av feltforsøka i databasen sett til 0,03 kg N₂O-N/kg N. For husdyrgjødsel lå det til grunn eit inkubasjonsforsøk (Velthof et al. 2010) der effekten av dei to spreimetodane var testa på organisk jord i tillegg til mineraljord. Fordi inkubasjonsforsøket ikkje representerer feltforhold, måtte ein nytte den relative forskjellen mellom husdyrgjødselledda og mineralgjødselledd på organisk jord i forsøket, for å finne utsleppsfaktorar for husdyrgjødsel etter spreimetode på organisk jord. Den relative forskjellen vart nytta saman med den nemte utsleppsfaktoren på 0,03 for mineralgjødsel. Utsleppsfaktorar for dei to spreimetodane for husdyrgjødsel vart dermed rekna ut etter følgjande formel:

EF frå inkubasjonsforsøk for husdyrgjødsel med spesifikk spreimetode/EF frå inkubasjonsforsøk for tilført CAN * EF for CAN frå feltforsøk.

3.3 Storbritannia

Storbritannia brukar Tier 2 metodikk for direkte lystgassutslepp frå handlegjødsel og husdyrgjødsel. Det blir brukt nasjonale utsleppsfaktorar, og det blir tatt omsyn til type gjødsel og nedbør i utsleppsrekneskapan (Storbritannia NIR 2018). Storbritannia har gjennomført eit stort prosjekt for å betre utsleppsrekneskapan når det gjeld lystgassutslepp: «Improvements to the national agricultural inventory – Nitrous oxide –The InveN₂Ory Project (2010-2016)» og det føreligg ein sluttrapport for prosjektet (Chadwick et al. 2016). Forskarar på lystgass frå sju forskingsorganisasjonar deltok i prosjektet som var oppdelt i fem arbeidspakkar. I arbeidspakke 1: Prioritering, vart det utarbeidd standardar for korleis feltarbeid skulle gjennomførast, landet vart delt opp i jord/klimasoner og det vart gjort ein gjennomgang av N-kjelder. Resultat frå eksisterande feltforsøk vart gjennomgått i forhold til N-kjelde, spreiemetode og spreietidspunkt, jordart, vekst og måleperiode. Effekten av nedbør og leirinnhald i jord vart modellert. Utifrå informasjonen dette gav vart det identifisert kva feltforsøk som mangla for å utarbeide nasjonale utsleppsfaktorar. Ein kom fram til at ein trong fem lokalitetar for feltforsøk i gras og fire i åker. I arbeidspakke 2 vart desse feltforsøka gjennomførte i England, Wales, Nord Irland og Skottland. I alle forsøk vart behandlingane og kontrollen repetert i eit randomisert blokkforsøk med tre blokker og fem kammer per plot (totalt 15 kammer per behandling). Mineralgjødsel vart testa på tre åkerlokalitetar og på tre englokalitetar der ein samanlikna ammoniumnitrat (ulike mengder, spreietidspunkt og tal spreingar) med urea med og utan DCD (nitrifikasjonshemmar). Forsøk med husdyrgjødsel vart gjort på tre åkerlokalitetar og tre englokalitetar med tilnærma lik N-mengde tilført per år (180 kg/ha). I åkerforsøka vart det brukt husdyrgjødsel frå ulike husdyrslag, og ein testa spreietidspunkta vår og haust og effekten av nedmolding. I engforsøka vart det berre brukt storfejødsel og ein testa effekten av spreietidspunkt (vår og haust), nedfelling i forhold til breispriing og bruk av nitrifikasjonshemmaren DCD.

Resultata frå forsøka viste at gjennomsnittleg utsleppsfaktor for åker var 0,0052 og 0,0034 ved bruk av høvesvis ammoniumnitrat og urea. DCD reduserte i snitt utsleppsfaktoren med 30%. For eng var gjennomsnittleg utsleppsfaktor 0,0112 for ammoniumnitrat medan den for urea var 0,0052. DCD reduserte utsleppsfaktoren for urea brukt i eng, men for ammoniumnitrat var effekten usikker. Gjennomsnittleg utsleppsfaktor for husdyrgjødsel var 0,0057, men det var skilnader mellom gjødselslag. Det var større utsleppsfaktor ved haustspreiing enn ved vårspreiing. Det var svært stor variasjon i utsleppsfaktorane etter bruk av husdyrgjødsel og det vart vurdert kor stor vekt ein skulle legge på desse resultata i forhold til eksisterande forsøksresultat. I arbeidspakke 3 identifiserte ein indikatorar for lystgassutslepp (mengde N-gjødsel, dyretal, bruk av nitrifikasjonshemmarar, jordfukt nedbør m.m). Det vart utvikla ein enkel modell som skulle predikere lystgassutslepp etter tilførsel av nitrogengjødsel basert på målingar av vassfylt porevolum og nitratinnhald i jord. Vidare i prosjektet evaluerte ein ulike modellar for lystgassutslepp i forhold til målte utslepp i feltforsøk, noko som kan danne grunnlag for ein framtidig Tier 3 utsleppsfaktor. Utsleppsfaktorane som ein kom fram til ved hjelp av målingar med faste kammer vart så verifiserte ved hjelp av å bruke automatiske målingar, dynamiske kammer og eddy-kovarians.

3.3.1 Mineralgjødsel

På bakgrunn blant anna av resultat frå prosjektet referert til over vart det for mineralgjødsel utvikla ikkje-lineære funksjonar for utsleppsfaktorar for lystgassutslepp frå ulike gjødseltypar. For ureabasert gjødsel gjeld likninga:

$$\ln(\text{CumN}_2\text{O}+1)=0,494(\pm 0,10008)+0,002035(\pm 0,0001542)*\text{NRate}$$

der:

CumN₂O er det samla årlege N₂O-N utsleppet (g/ha)

NRate er mengda N-gjødsel tilført (kg/ha)

For alle andre typar mineralgjødning er denne likninga brukt:

$$\ln(\text{CumN}_2\text{O} + 1) = 0,1616 (\pm 0,13526) + 0,00006093 (\pm 0,000240365) * \text{NRate} + 0,0005187 (\pm 0,00016259) * \text{RainYr} + 0,00000354 (\pm 0,0000002785) * \text{NRate} * \text{RainYr}$$

der:

CumN₂O er det samla årlege N₂O-N utslippet (g/ha)

NRate er mengda N-gjødning tilført (kg/ha)

RainYr er årleg normalnedbør

Utsleppsfaktorane er utrekna slik: ((CumN₂O ved spesifisert NRate - CumN₂O ved 0NRate)/NRate)

Det vil sei at ein har trekt frå lystgassutsepp frå ugjødsle ledd ved utrekning av utsleppsfaktorane.

Det er brukt informasjon om dyrka vekst per 10 x 10 km (romleg oppløysing), mengde N-gjødning brukt til veksten og 30-års- normalen for nedbør. Informasjon om type vekst og gjødselmengde til dei ulike vekstane finst i statistikkdatabasar for England, Wales, Skottland og Nord Irland. Totalareal og total gjødselmengde for dei ulike vekstane er gitt i Annex 3.3 (Tab. A 3.3.8) til den nasjonale utsleppsrapporten. Per i dag blir det altså ikkje brukt ulike utsleppsfaktorar for ulike vekstar sjølv om resultatane frå feltforsøka viser skilnad mellom eng og åker. Informasjonen om type vekst blir berre brukt til å finne ut mengde N-gjødning brukt på ulike stader.

3.3.2 Husdyrgjødsel

For gjødsling med husdyrgjødsel-N vart det også estimert nasjonale utsleppsfaktorar. Det vert skilt mellom blautgjødning med ein utsleppsfaktoren på 0,007475 av total-N, og fastgjødning med 0,003635 av tilført N, men det er inga oppdeling utover dette. Oversikt over utsleppsfaktorar finst i Annex 3.3 (tabell A 3.3.7)

Tabell 2.4. Utsleppsfaktorar for direkte N₂O-utslipp frå N i mineralgjødning og husdyrgjødsel, kg N₂O-N/kg N (Kjelde: (Annex 3.3. Tab. A3.3.7, UK GHG Inventory 1990-2016, 2018).

Kjelde	EF (% av total-N)	Usikkerheit	Datakjelde
Urea	Ikkje-linjær funksjon av tilført N		Topp et al. 2016
Anna mineralgjødning	Ikkje-linjær funksjon av tilført N og nedbør		Topp et al. 2016
Blautgjødning	0,007475	SE 0,0017328	Topp et al. 2016
Fastgjødning	0,003635	SE 0,0006622	Topp et al. 2016

3.4 Canada

Canada brukar Tier 2-metode for utrekning av N₂O-utslipp frå gjødsling med mineralgjødning-N og husdyrgjødsel-N (Canada NIR, 2018). I rekneskapet er landet delt inn i økodistrikt på ca. 150 000 ha, for å ta omsyn til skilnader i nedbørsforhold og topografi. Eit økodistrikt er ein del av ein økoregion og er prega av spesifikk landform, geologi, jord, vegetasjon, vatn og fauna. Informasjon om nedbørsnormalar og fordamping frå mai til oktober frå 958 værstasjonar, samt digital kartlegging av terrengfordelingar, blir lagt til grunn for ein basis utsleppsfaktor (EF_{base}). Det blir rekna ut EF_{base} for kvart av 405 økodistrikt inkludert i regnskapet, av totalt 1027 økodistrikt som er vist i Figur 2.1.



Figur 2.1. Terrestrial Ecodistricts of Canada frå https://open.canada.ca/data/en/fgpv_vpgf/fe9fd41c-1f67-4bc5-809d-05b62986b26b, 10.12.2018

EF_{base} er estimert til 0,012, 0,0016, og 0,008 for høvesvis områda Quebec-Ontario, område med brun og mørkebrun jord, og grå og svart jord i den tørrare Prærieregionen (NIR CANADA, 2018). Basisfaktoren er størst for regionar med ein stor andel lågland og mykje nedbør i forhold til fordamping. Dei regionsvise basisfaktorane er basert på en rekkje feltmålinger, hovudsakleg med kammermetoden, der kvart eksperiment med årsmåling utgjer eit «fluksår». Det var 72 fluksår i Quebec-Ontario, 155 i den delen av det Canadiske Prærieområdet med jord av typen brun-mørkebrun og 48 i svartjordsområdet. I dei relativt snørike, austlege delane av Canada har det vore vanskeleg å fange opp N₂O-utsleppet i perioden med snødekke og vårløysinga om våren ved bruk av kammermetoden. Utsleppsfaktorar basert på målinger i vekstsesongen er multiplisert med ein faktor 1,4 for å korrigere for utslepp som ikkje er fanga opp gjennom vinterperioden. Tillegget på 40% er basert på målingar i vinterperioden og vårløysinga ved hjelp av eddy kovariance. Utsleppsfaktoren på økodistriktnivå er avhenging av forholdet nedbør/fordamping for det respektive økodistriktet. Utsleppsfaktoren frå regionnivå er tilpassa til økodistriktnivå via ein funksjon basert på forholdet nedbør/fordamping. I tillegg er det frå måledataene estimert egne koeffisienter for justering for følgjande faktorar der det er aktuelt og datagrunnlaget tillet det: jordtekstur (grovkorna, middels korna, finkorna), jordarbeiding, vatning, topografi og sommarbrakk. Utrekningsmetodane er omtalt i detalj i Rochette et al. (2008).

Den generelle formelen som gjeld både for N₂O frå mineralgjødning og husdyrgjødning er slik:

$$N_2O = \sum_i (N_{i,j} \times EF_{base,i} \times RF_{tekstur,i}) \times 44/28$$

der

$$N_2O = \text{Utslepp av kg N}_2\text{O/år}$$

$$N_{i,j} = \text{kg N tilført/år på dyrkingsareal i økodistrikt } i$$

$$EF_{base,i} = \text{utsleppsfaktor for kg N}_2\text{O-N/kg årleg tilført N, som vekta snitt for økodistrikt } i, \text{ som tek omsyn til nedbørsforhold og topografi}$$

$$RF_{tekstur,i} = \text{faktor for N}_2\text{O etter jordteksturandel i kvart økodistrikt } i$$

$$44/28 = \text{Konvertering av N}_2\text{O-N til N}_2\text{O}$$

N frå husdyrgjødsel

Tilført N frå husdyrgjødsel blir rekna ut frå tal dyr per husdyrkategori multiplisert med årleg N-ekskresjon. Beiteandel og tap i form av ammoniakk og avrenning ved handtering og lagring av husdyrgjødsel blir trekt frå. Mengda husdyrgjødsel blir rekna ut etter årleg dyretal. For kvart økodistrikt er mengda husdyrgjødsel fordelt etter tal dyr ved jordbruksteljingar kvart 5. år, med interpolering mellom teljingane.

N frå mineralgjødsel

Årleg mengde omsett N-gjødsel finst for kvar provins. Mengda blir fordelt på økodistrikta basert på differansen mellom anbefalt (potensiell) N-gjødsling (kg N/ha) til produksjonen av aktuelle vekstar (ha) og tilgjengeleg N i husdyrgjødsel i kvart enkelt økodistrikt. Tilført total N frå husdyrgjødsel blir redusert med ein faktor på 0,35 for å ta omsyn til at ein del av nitrogenet i husdyrgjødsel ikkje er tilgjengeleg for plantene (Yang et al. (2007).

3.5 USA

USA brukar ein kombinasjon av Tier 1 og Tier 3 for å estimere utslepp av lystgass frå jordbruksjord (USA NIR 2018). Ein prosessbasert, biokjemisk modell (DAYCENT) blir brukt til å estimere direkte lystgassutslepp frå ulike åkervekstar dyrka på mineraljord og frå “ikkje-føderal” eng (Parton et al. 1998; Del Grosso et al. 2001 and 2011). Tier 1 blir brukt på all organisk jord, på ein del mineraljord (med til dømes høgt innhald av grus og stein) og på ein del vekstar (til dømes sukkerroer og tobakk) der modellen for lystgassutslepp ikkje er godt nok testa. Tier 1 blir også brukt på føderal eng på grunn av manglande aktivitetsdata for dyrkingshistorikk. Tier 3 baserer seg på statistikk om arealbruk og dyrkingshistorie samla i USDA National Resources Inventory (NRI) (USDA-NRCS 2015). NRI har statistikk for alt ikkje-føderalt areal og inkluderer 363 286 punkt for jordbruksareal der Tier 3 blir brukt. Tier 1 blir brukt på resten av punkta (205 487) i NRI kartlegginga. Kvar punkt er assosiert med ein «ekspansjonsfaktor» som oppskalerer N₂O-utsleppet frå NRI-punktet til heile landet, der kvar ekspansjonsfaktor representerer storleiken på arealet med den same arealbruken/dyrkingshistoria som prøvepunktet. Det vart samla data frå kvart NRI-prøvepunkt med 5 års mellomrom frå 1982 til 1997. For åkerareal vart det samla inn data i 4 av 5 år i syklusen. I 1998 starta NRI-programmet å samle data på årleg basis (USDA-NRCS 2015).

DAYCENT kombinerer arealbruk/vekstar med N-gjødsling, jord- og klimatiske faktorar på den enkelte lokaliteten. Den krev detaljerte data om N-gjødsling for ulike vekstar, jord- og klimadata og programmeringseksperter. Modellen inkluderer også effekten av at nitrogen tilført eitt år kan bli lagra i jorda, bli remineralisert frå organisk materiale og føre til N₂O-utslepp seinare år.

DAYCENT blir brukt på rundt 91% av arealet av åkervekstar i USA. For dei mest dyrka vekstane i den sentrale delen av USA (mais, soyabønne, sorgum, bomull og kveite) er N opptak i planter simulert med ein NASA-CASA produsert algoritme basert på satellittdata (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS) i kombinasjon med Enhanced Vegetation Index (EVI). (Potter et al. 1993; Potter et al. 2007). DAYCENT blir brukt for å estimere N₂O-utslepp frå mineralgjødsel og husdyrgjødsel og frå andre kjelder. Data for gjødselbruk til ulike typar vekstar er henta frå nasjonale statistikkbankar.

3.6 Overføringsverdi til Norge

Av dei landa vi har gått gjennom meiner vi at metodikken brukt i Nederland og Storbritannia har størst overføringsverdi til Norge. Å skilje mellom mineralgjødsel og husdyrgjødsel, organisk jord og mineraljord, åker og eng er aktuelt også for Norge. Canada har ein meir avansert Tier 2 modell som gjerne estimerer lystgassutsleppa på ein god måte, men som vil kreve stor innsats for å få utvikla i Norge. USA sin Tier 3 modell meiner vi er såpass kompleks at den er uaktuell å sjå nærmare på. I Danmark føregår det også arbeid som vurderer korleis nasjonale utsleppsfaktorar skal utviklast (Petersen og Olesen 2018). Dette bør ein følgje med på vidare. Det kan vere at slikt arbeid også føregår i andre nordiske land utan at det kjem fram i utsleppsrekneskapen deira. Direkte kontakt med myndigheitene som arbeider med lystgassrekneskapen i desse landa vil derfor vere nyttig i det vidare arbeidet.

4 Frå Tier 1 standard utsleppsfaktor til Tier 1 nasjonal faktor i Norge

Det er ein del forhold som må vurderast dersom Norge skal gå frå Tier 1 standard utsleppsfaktor til nasjonal utsleppsfaktor for mineralgjødning og husdyrgjødning ved nasjonal rapportering. I retningslinjene for nasjonalt klimagassrekneskap (IPCC 2006) står det at bruk av standard utsleppsfaktor på 0,01 oftast er tilstrekkeleg. Standardverdien er oppgitt med ei usikkerheit på 0,003-0,03, og dekkjer såleis eit svært vidt område. Retningslinjene oppgir at utsleppsfaktoren kan differensierast etter følgjande forhold for å få eit rettare utsleppsrekneskap: klima, innhald av organisk materiale i jord, jordtekstur, drenering, pH, gjødseltype, gjødselmengde og type vekst. Det er vanskeleg å finne spesifikke krav i retningslinjene til kva som må til av forsøk og dokumentasjon for å ta i bruk ein nasjonal utsleppsfaktor. Det er svært ulik dokumentasjon (tal feltforsøk m.m) mellom land som har tatt i bruk nasjonale utsleppsfaktorar. Dette har blant anna samband med kor stor innanlands variasjon det er i jordbruksdrift, jordforhold og klima. Kvart enkelt land må derfor finne ut kva som har mest å sei for deira lystgassutslepp og arbeide vidare med det.

Ein bør starte med å finne ut om ein har indikasjonar på at standard utsleppsfaktor ikkje passar for norske forhold. Dette må vurderast med bakgrunn i resultat frå nasjonale feltforsøk med utsleppsmålingar og resultat frå andre land ein kan samanlikne seg med. Norge har hatt avgrensa forskingsaktivitet på dette området. Forholdsvis lang vinter med snø og tele gjer at målingar med kammermetoden fungerer dårleg. Det har vore spreidde forsøk i eng og korn rundt omkring i landet, der ein har testa effektar av ulike typar tiltak. Feltforsøk med heilårsmålingar med ei målsetting om å teste om utsleppsfaktoren 1% stemmer under norske forhold er det få av. Vi vil likevel referere norske forsøk som kan gje indikasjonar på kva ein bør undersøke vidare.

4.1 Resultat frå feltforsøk i korn

I langvarige kornforsøk på Ås vart effekt av gjødslingsstyrke (0, 6 og 12 kg mineralgjødning-N/daa) og pløyetidspunkt (vår, haust) på utslepp av lystgass i vekstsesongen undersøkt av Nadeem et al. (2014). Det vart målt i snøfri periode i bygg i 2009 (190 dagar) og i kveite i 2010 (220 dagar). Utsleppsfaktoren, som vart rekna ut for det målte tidsrommet, varierte svært mykje mellom år på grunn av ulike vêrforhold. I 2010 var nedbøren meir ujamnt fordelt enn i 2009, noko som resulterte i fleire tørke- og oppfuktingsepisodar. I 2009 var gjødselindusert lystgassutslepp høvesvis 0,37 og 0,40% av tilført N for haust- og vårpløying, medan det i 2010 var 0,73 og 0,96%. Resultata antyda at utsleppsfaktoren auka med aukande gjødslingsstyrke, og at ein ved å redusere gjødslinga frå 12 til 9 kg N/daa reduserte lystgassutsleppet med 30% utan å redusere avlinga med meir enn 6-8%.

På Ås har ein også sett på effekten av aktuell dreneringstilstand på lystgassutslepp i korn (Tesfai et al. 2015). I 2011 vart det målt i havre frå 8. april til 2. september og i 2012 i bygg frå 13. april til 27. august. Begge år vart det gjødsla med 10,5 kg N/daa frå mineralgjødning. Lystgassutsleppet frå areal med eit grøftesystem som fungerte godt var svært mykje lågare enn frå areal der grøftesystemet ikkje fungerte. Sidan det ikkje vart gjort målingar på ugjødsla areal, og målingane berre er utført i 4-5 mnd er det ikkje mulig å estimere ein utsleppsfaktor av tilført nitrogen. Forsøket viser likevel at det er viktig å utføre feltforsøk på jord med ulik dreneringstilstand.

På Apelsvoll vart det i 2011 utført feltforsøk der ein undersøkte korleis delgjødsling med nitrogen i vårkveite påverkar lystgassutslepp relatert til avling og kornkvalitet (Russenes et al., submitted). Lystgassmålingane vart utført i vekstsesongen frå delgjødsling til høsting, om vinteren og under

vårløysinga. Lystgassutsleppet auka med auka nitrogengjødsling, men målt i forhold til avling og avlingskvalitet var utsleppa minst ved optimal gjødsling jf vekstforholda. Det vart ikkje observert effekt av ulik gjødselmengde gjennom vinteren eller ved snøsmelting/vårløysing. Det ser derfor ut til at effekten av N-gjødsling er avgrensa til ein kort periode rett etter gjødslingstidspunktet. Ut over dette er det andre faktorar, som klima, jordforhold m.m som er avgjerande for storleiken av lystgassutslepp. Ein manglar målingar av lystgassutslepp rundt vårgjødslinga for å estimere årleg gjødselindusert lystgassutslepp i dette forsøket.

Russenes et al. (2016) undersøkte også samanhengen mellom pH i jord og utslepp av lystgass i vårkveite utanom vekstsesong. Det var tydeleg mindre lystgassutslepp med aukande pH sjølv om variasjonen i pH berre var frå 5,5 til 5,8. pH er ein viktig faktor å ta omsyn til ved lystgassutslepp, men kan vere vanskeleg å ta med i det vidare arbeidet med nasjonale utsleppsfaktorar.

4.2 Resultat frå feltforsøk i eng

I eit gjødslingsforsøk i eng på godt drenert morenejord utan køyring/jordpakking på Tingvoll fann Hansen et al. (2014) låge lystgassutslepp både ved bruk av mineralgjødsel og husdyrgjødsel (breispreidd storfegylle). Målingane vart utført over 245 dagar i det tørre og varme året 2009 og over 125 dagar i det kjølige og fuktige året 2010. Bakgrunnsemisjonen (lystgassutsleppet frå ugjødsla areal) var mykje større i 2009 enn i 2010, men gjødselindusert lystgassutslepp frå mineralgjødsel var rundt 0,11% begge år. Altså på eit svært mykje lågare nivå enn IPCC sin standardfaktor. For husdyrgjødsel kunne ein ikkje måle auke i lystgassutsleppa i 2009 samanlikna med ugjødsla jord, men i 2010 fekk ein lystgassutslepp tilsvarende 0,15% av tilført husdyrgjødsel-N.

På Tingvoll vart det i 2010 også målt lystgassutslepp i etablert eng under praktisk jordbruksdrift med ulik dreneringstilstand, definert som ulik djupne til vasstand i jorda (Hansen et al. 2013). Det vart gjødsla med husdyrgjødsel om våren og med mineralgjødsel om våren og etter første slått. Lystgassutsleppet auka med dårlegare dreneringstilstand, og låg på eit mykje høgare nivå enn det Hansen fann i gjødslingsforsøket som vart utført på eit forsøksareal som ikkje hadde vore utsett for køyring/pakking. Målingane vart utført i ein avgrensa periode i vekstsesongen og det vart ikkje tatt målingar på ugjødsla areal.

I Askvoll i Sogn og Fjordane undersøkte ein effekten av dreneringstilstand (12 og 6 m grøfteavstand) på lystgassutslepp i eng på sandig silt/siltig sandjord gjødsla med 29 kg N/daa frå mineralgjødsel. Målingane vart gjort frå mai 2014 (ved etablering av enga) til desember 2016. Samla lystgassutslepp over heile måleperioden var minst frå det dårlegast drenerte arealet, noko som i lag med at vi også målte metanutslepp her, tyder på at ein kan ha fått ein reduksjon til molekylært nitrogen (N₂). N₂ er ingen drivhusgass, og utgjer 78% av atmosfæren, men kan utgjere betydeleg tap av nitrogen. I dette forsøket målte ein også utslepp frå ugjødsla areal, og i snitt for heile måleperioden låg lystgassutsleppet på 1% av tilført N, som er IPCC sin standardfaktor (Hansen et al. upublisert).

I Fræna i Møre og Romsdal har ein målt lystgassutslepp i eng på omgraven og grøfta myr i 2015 (27.04-14.10) og 2016 (05.04-20.11). Myra er her næringsfattig. Det var gjødsla med 26 kg N/daa frå mineralgjødsel begge år, og det var også målt lystgassutslepp frå ugjødsla areal. På omgraven myr, der mineralmasse ligg oppå myra, var det ein utsleppsfaktor på 1,3 og 0,9% i høvesvis 2015 og 2016, medan det for grøfta myr var 1,6 og 3,4% (Hansen et al. 2016, Dörsch et al. 2017). Frå ugjødsla areal var lystgassutsleppet svært lite både for grøfta og omgravid myr. Dette indikerer at lystgassutsleppet i begge tilfelle er gjødselindusert og ikkje stammar frå sjølve myrjorda. 2015 var eit relativt fuktig år, 2016 var eit relativt tørt år.

På Fureneset vart langtidseffekten av innblanding av skjelsand og morenemasse i myrjord testa på lystgassutslepp i eng av Hovlandsdal (2011). Målinga vart gjennomført over 123 dagar i perioden etter 2. gjødsling i 2010 (1. juli til 1.november). Det var gjødsla med 9,5 kg N/daa frå mineralgjødsel. Det var

svært høge lystgassutslepp rett etter gjødsling, i ein periode med mykje nedbør og fluktuerande og høg grunnvasstand, men etter ca 3 veker gjekk utsleppet tilbake. Skjelsandinnblanding auka pH i jorda og reduserte lystgassutsleppet i perioden etter gjødsling. Det vart rekna ut ein utsleppsfaktor av tilført nitrogen i perioden frå gjødsling til hausting. Denne var 6,4% for myrjord utan innblanding (svært låg pH i jorda), 5,0% for morenemasse og 1,9% for største mengde skjelsand (80 m³/daa). Det var ikkje med ugjødsla ledd i forsøket.

På Fureneset vart det målt lystgassutslepp etter gjødsling med breispreidd storfegylle i 2012 og 2013. I 2012 auka lystgassutsleppa rett etter spreining, men utsleppa gjekk raskt tilbake (Rivedal et al. 2012). I 2013 var temperauren ved spreining lågare og ein observerte ingen auke i lystgassutsleppa (Sturite et al. 2014). I desse forsøka var det ikkje med ledd utan gjødsling og målingane vart gjennomførte i tidsavgrensa periodar i vekstsesongen, men målingane indikerer låge utslepp frå husdyrgjødsel.

Roedhe et al. (2006) fann ein utsleppsfaktor av total-N på 1,1% for husdyrgjødsel som er injisert (DGI) og 0,3% for stripespreidd husdyrgjødsel under svenske forhold. Også i Nederland og Storbritannia har ein funne lågare utsleppsfaktorar enn 1% frå breispreidd husdyrgjødsel.

4.3 Heilårsmålingar

Det er problematisk å gjennomføre lystgassmålingar ved hjelp av kammermetoden når det er snø og frost om vinteren. Delar av Norge har ein forholdsvis lang vinter, og ein del av utsleppa vil som følge av det komme vinterstid. For å få rettast mogleg utsleppsfaktor må ein gjennomføre heilårsmålingar, noko som er utfordrande i vårt klima. I tabell 3.1 gjeld utsleppsfaktorane for oppgitt måleperiode. Dersom ein har ein lang måleperiode og utsleppa frå gjødsla areal er tilnærma lik utsleppa frå ugjødsla areal utanom vekstsesongen, treng ikkje utsleppsfaktoren avvike særleg frå om ein hadde hatt heilårsmålingar.

Tabell 3.1. Norske forsøk med utrekna utsleppsfaktor (EF) for lystgassutslepp (% av tilført N) for oppgitt måleperiode. Mineralgjødsel er ammoniumnitrat.

Vekst	Gjødseltype	Stad	År	Måleperiode (dagar)	Forsøks-spørsmål m.m.	EF % av tilført N	Referanse
Bygg	Mineral	Ås	2009	190	Gjødsling	0,37-0,40	Nadeem et al. 2014
Kveite	Mineral	Ås	2010	220	Gjødsling	0,73-0,96	Nadeem et al. 2014
Eng	Mineral	Tingvoll	2009	245	Gjødsling	0,11	Hansen et al. 2014
Eng	Mineral	Tingvoll	2010	125	Gjødsling	0,11	Hansen et al. 2014
Eng	Husdyrgjødsel	Tingvoll	2009	245	Gjødsling	0,0	Hansen et al. 2014
Eng	Husdyrgjødsel	Tingvoll	2010	125	Gjødsling	0,15	Hansen et al. 2014
Eng	Mineral	Askvoll	2014-2016	970	Drenering	1,0	Hansen et al. upubl.

Eng	Mineral	Fræna	2015	170	Grøfta myr	1,6	Hansen et al. 2016 Dörsch et al. 2017
Eng	Mineral	Fræna	2015	170	Omgravd myr	1,3	Hansen et al. 2016 Dörsch et al. 2017
Eng	Mineral	Fræna	2016	229	Grøfta myr	3,4	Hansen et al. 2016 Dörsch et al. 2017
Eng	Mineral	Fræna	2016	229	Omgravd myr	0,9	Hansen et al. 2016 Dörsch et al. 2017
Eng	Mineral	Fureneset	2010	123 (etter 2. gjødsling)	Myrjord med innblanding skjelsand eller morenemasse	1,9-6,4 ¹	Hovlandsdal et al. 2011
Grønnpôr	Mineral	Surnadal ²	1991	34	Upakka	1,1	Hansen et.al 1993
Grønnpôr	Mineral	Surnadal	1991	34	Pakka	1,6	Hansen et.al 1993
Grønnpôr	Husdyrgjødsel	Surnadal	1991	34	Upakka	0,8-1,2	Hansen et.al 1993
Grønnpôr	Husdyrgjødsel	Surnadal	1991	34	Upakka	0,6-1,0	Hansen et.al 1993

¹Ikkje med ugjødsle ledd i forsøket. Den høgste utsleppsfaktoren kjem frå myrjord med svært låg pH der grasveksten var svært dårleg.

²Kort måleperiode, men likevel tatt med. Ein lenger måleperiode ville gitt større EF.

4.4 Er det mulig å utvikle ein nasjonal utsleppsfaktor i Norge?

Dei norske utsleppsmålingane er så langt ikkje tilstrekkelege for å utvikle ein nasjonal utsleppsfaktor for Norge. I Storbritannia hadde dei eit stort, tverrfagleg prosjekt der målet var å generere data gjennom modellering og måling for å skaffe nasjonale utsleppsfaktorar (The InveN₂Ory Project, 2010-2016). Dei gjekk gjennom alle N₂O-målingar som var utført i forhold til N-kjelde, spreiemetode, spreietidspunkt, jordtype, vekst og måleperiode. Så modellerte dei effekten av nedbør og leirinnhald i jord på lystgassutslepp på ulike lokalitetar. Ut ifrå resultatane her fann dei kunnskapshol og kva slags feltforsøk som måtte prioriterast. Dette resulterte i 5 forsøksfelt i gras og 4 forsøksfelt i åker som gjekk over 12 mnd.

Også i Danmark har ein gått gjennom resultat frå eksisterande feltforsøk, og med bakgrunn i blant anna dette er det foreslått eit måleprogram for å bestemme nasjonale utsleppsfaktorar for lystgass (Petersen og Olesen 2018).

I Norge bør ein også starte med å få meir informasjon ut av dei eksisterande utsleppsmålingane ved å relatere resultatane meir til jordforhold og klima. Det kan kanskje også reknast ut utsleppsfaktorar der dette ikkje er gjort i publikasjonane. Resultata frå dei eksisterande norske målingane tyder på at utsleppsfaktoren frå husdyrgjødsel kan være mindre enn standarden på 1%. Ein har likevel få resultat frå gjødsling med husdyrgjødsel, så dette må undersøkast nærmare ved hjelp av feltforsøk i ulikt klima og på ulike jordartar. Når det gjeld mineralgjødsel er det stor variasjon i utsleppsfaktoren mellom ulike forsøk. Resultata tyder på at for gjødsling til korn er utsleppsfaktoren mindre enn standarden på 1%, men fleire feltforsøk må gjennomførast for å stadfeste dette. Det er utført flest feltforsøk i eng, men variasjonen i utsleppsfaktor er her svært stor. For tradisjonelt grøfta myrjord (organisk jord) ser det ut til at utsleppsfaktoren er større enn 1%, noko som samsvarar med resultat frå Nederland. Feltforsøka på næringsfattig myr i Fræna, høvesvis omgravd og tradisjonelt grøfta, er vidareført med heilårsmålingar i 2017 og 2018, og resultatane er no under bearbeiding. Ut frå det kjennskap vi har manglar ein lystgassmålingar på næringsrik myr i Norge. For omgravd myr ser lystgassutsleppet ut til å vere på nivå med utlepp frå anna mineraljord. I feltforsøk på godt drenert mineraljord som ikkje er utsett for uheldig køyring/pakking kan utsleppsfaktoren vere langt mindre enn 1%. I forsøka i Askvoll og på Fræna køyrde ein med traktor på enga der lystgassmålingane vart utført, slik at jorda vart utsett for pakking meir i samsvar med praktisk drift. Her har ein fått utsleppsfaktorar på rundt 1%.

4.5 Nye forsøk for å utvikle nasjonal utsleppsfaktor

Ved utvikling av ein nasjonal utsleppsfaktor må ein ta utgangspunkt i kva som er hovudproduksjonane i Norge, kvar dei er lokalisert og kva typar gjødsel som blir brukt.

Det blir dyrka grovfôr på rundt 6 671 000 daa, korn på rundt 2 891 000 daa, potet på 116 000 daa og grønnsaker på 72 000 daa i Norge (Landbruksdirektoratet 2018). Av korn blir det dyrka mest bygg, deretter havre og vårkveite. Grovfôr blir dyrka over heile landet, medan kornproduksjonen er konsentrert til dei beste jordbruksområda. Fylker med størst kornproduksjon er etter tur Austfold, Akershus, Hedmark og Trøndelag. Det er Austfold som dyrkar mest kveite, medan Akershus dyrkar mest havre og Trøndelag mest bygg (SSB 2018).

Gjødselundersøkinga i 2013 (Gundersen og Heldal 2015) viste at det totalt vart tilført rundt 125 000 tonn nitrogen (tot-N) til norsk jordbruksareal. 28% vart tilført korn og oljevekstar, 62% til eng til slått og beite og 7% til innmarksbeite. 32% av tilført nitrogen kom frå husdyrgjødsel. Mesteparten av husdyrgjødsel blir brukt på etablert eng, men det blir også brukt litt ved etablering av eng, på innmarksbeite og til bygg. Av ei total mengde lagra nitrogen frå husdyrgjødsel på 60 000 tonn tot-N kom rundt 39 000 tonn frå storfe, 7 600 frå sau og 7000 frå svin. Mesteparten av husdyrgjødsel vart lagra som blautgjødsel. Mesteparten av husdyrgjødsel spreidd på etablert eng er spreidd som gylle iblanda vatn. Av rundt 26 000 tonn tot-N blir 59% spreidd om våren, 37% om sommaren og 4% om hausten. 19% av husdyrgjødselmengda tilført etablert eng og 18% tilført open åker er spreidd med stripespreiar eller nedfellar. Ein har per i dag ikkje tal for mengde spreidd med nedfellar åleine.

Størsteparten av nitrogenet i mineralgjødsel som blir brukt i Norge er fullgjødsel med ammoniumnitrat (75%) eller ammoniumnitrat med svovel (19%). Det blir nesten ikkje brukt urea (0,06 %) (Mattilsynet 2018), og ein kjenner ikkje til at det blir brukt nitrifikasjonshemmarar her til lands.

Feltforsøka bør i størst mogleg grad plasserast der ein har opplysingar om jord (tekstur, innhald av organisk materiale m.m.) og det er viktig at jordvariasjonen ikkje er for stor. Det må også vere tilgang på meteorologiske data. Det er tidkrevande og kostbart å utføre lystgassmålingar og ein har derfor prøvd å avgrense omfanget. Før ein startar arbeidet må det lagast ein mal for korleis forsøka skal gjennomførast slik at blir gjort likt, jmf. Storbritannia og Danmark. For å teste effektar av ulike tiltak er manuelle målingar ved hjelp av kammermetoden det mest vanlege. Det er tidkrevande, og ein

risikerer ei over- eller underestimering av utsleppet avhengig av når ein tek prøvene i forhold til toppane av lystgassutsleppet. I Storbritannia har ein derfor i tillegg tatt ein del automatiske kammermålingar og ein har verifisert målingane ved hjelp av eddy kovarianse, som måler kontinuerleg over eit større område. På grunn av stor variasjon i vêrforhold mellom år bør feltforsøka gå over tre år. Ein bør og etterlikne vanleg jordbrukspraksis med omsyn til traktorkøyring.

4.5.1 Forslag til nye feltforsøk i korn

Sidan kornproduksjonen i Norge føregår i avgrensa del av landet konsentrert til det beste jordbruksarealet på Austlandet og i Trøndelag vurderer vi at det kan vere nok med tre-fire nye feltforsøk (Tab. 3.2). Det er aukande interesse for dyrking av haustkveite, så ein må gjerne ha dette med sjølv om produksjonen i dag ikkje er så stor. Haustkveite har større avling og blir gjødsla sterkare enn vårkveite. I korndyrkingsområda har ein fullstendig jordsmonnskartlegging, og før etablering av felta bør dette undersøkast slik at felta blir plasserte på representative jordartar. I utgangspunktet kan ein tenke seg at felta blir plasserte på jord med ulikt innhald av leire og silt på Apelsvoll, i Ås og i Trøndelag/Midt-Norge. Avhengig av kor mykje ressursar ein vil sette inn, kan ein utvide feltforsøka til fleire jordartar innanfor same distrikt. Sidan dreneringstilstand betyr mykje for lystgassutslepp bør også feltforsøka gjenspegle dei generelle dreneringstilhøva i kornproduksjonen.

Gjødsling

Sidan det blir brukt ein del husdyrgjødsel til bygg føresler vi å bruke husdyrgjødsel i kombinasjon med mineralgjødsling til feltet i Trøndelag/Midt-Norge. Det kan enten vere svinergjødsel eller storfejødsel. På dei andre felta brukar vi berre brukt mineralgjødsling, og til vårkveiten bør det brukast delgjødsling. Av gjødslingsledd må det minimum vere med eit ledd med anbefalt/normal gjødsling og eit 0-ledd. Anbefalt gjødsling kan ein finne ved å bruke gjødselkalkulatoren som kalkulerer nitrogenbehovet til korn i ulike regionar. Kalkulatoren blir om kort tid gjort tilgjengeleg på nett av NIBIO. I tillegg må det vurderast om det skal vere med eit ledd med svakare og eit ledd med sterkare gjødsling enn anbefalt mengde, og om det er andre forhold ein ynskjer å teste.

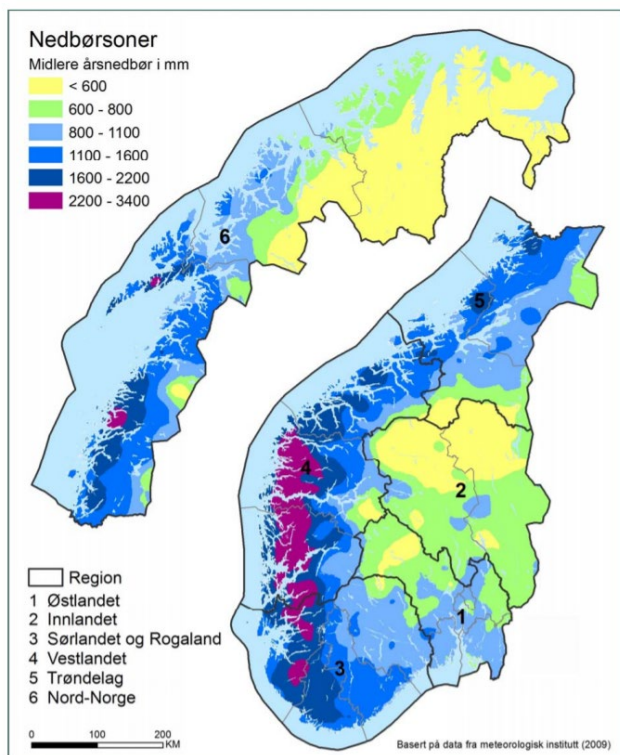
Tabell 3.2. Forslag til nye feltforsøk i korn.

Kornart	Lokalisering	Gjødsling
Vårkveite Haustkveite	Ås	Mineralgjødsling, inkl. delgjødsling
Havre	Apelsvoll	Mineralgjødsling
Bygg	Trøndelag/Midt-Norge	Husdyrgjødsel + mineralgjødsling

4.5.2 Forslag til nye feltforsøk i eng

Grovfôr blir produsert over heile landet og variasjonen i klima og jordforhold er dermed svært stor. Figur 3.1 viser Norge oppdelt i seks nedbørssoner, der sonene med høvesvis minst og størst årleg nedbør varierer frå <600 mm til 2200-3400 mm. Fylker med størst grovfôrareal er etter tur Trøndelag, Rogaland, Oppland og Nordland. Dei feltforsøka ein har hatt i eng har vore i område med normal årsnedbør på over 2000 mm i året (Askvoll og Fureneset i Sogn og Fjordane) og 1000-1500 mm (Tingvoll og Fræna i Møre og Romsdal). Det bør plasserast feltforsøk i område med mindre nedbør, til dømes på aktuelle stader i Oppland. Også i Nord-Norge manglar ein lystgassmålingar, og det bør etablerast felt minimum i Nordland, kanskje også i Troms. I Nordland har ein kompetanse på

lystgassmåling på Tjøtta. I dei store grovfôr fylka Trøndelag og Rogaland bør det også gjennomførast målingar.



Figur 3.1. Nedbørssoner i Norge (Kjelde: Jordsmønstatistikk i Norge)

Når det gjeld jord går det eit hovudskilje mellom mineraljord og myrjord/organisk jord. Myrjord kan delast i næringsrik og næringsfattig myr. Når resultatane frå målingane frå Fræna i Møre og Romsdal for alle år er klare har ein kanskje nok målingar av lystgassutslepp på næringsfattig myr. Det er ikkje utført målingar på næringsrik myr. Om dette skal gjerast må ein vurdere i forhold til storleiken på arealet av denne myrtypen. Det føreligg ikkje oppdaterte opplysingar om andelen næringsrik myr av jordbruksareal i drift. Utifrå materiale som føreligg frå Landskøgtakseringa 1987-1993 kan det estimerast at næringsrik myr utgjer omlag 1/3 og næringsfattig myr 2/3 om materialet er representativt (Johansen 1997), men estimatet er usikkert.

Sandhaldig silt/silthaldig sand med høgt innhald av organisk materiale er ei gruppe mineraljord som er vanleg førekommande i Norge. På denne jordarten har vi målingar for mineralgjødning frå Askvoll i Sogn og Fjordane, men vi manglar målingar for gjødning med husdyrgjødning. For morenejord finst målingar for husdyrgjødning og mineralgjødning frå Tingvoll i Møre og Romsdal. Det blir omfattande å ha feltforsøk på ulike jordartar innanfor ulikt klima. Ein bør derfor velje ut dominerande jordart innanfor ulike distrikt. Dette vil vere utfordrande og bør vurderast nærmare før ein vel lokalitet for felte. I denne samanheng bør ein også vurdere dreneringstilstand.

Det kan også vere aktuelt å ta omsyn til engalder og botanisk samansetning i eng ved etablering av felte, slik at ein får ein viss variasjon. Innhald av kløver (med biologisk N-fiksering) i enga vil påverke lystgassutsleppet og må vurderast. Som for kornforsøka bør feltforsøka i eng gå over tre år med målingar heile året.

Gjødsling

Gjødslinga på engfelta bør vere ein kombinasjon av husdyrgjødsel og mineralgjødsel slik det er i praksis. Det bør brukast breispreidd storfegylle, som er den mest vanlege gjødseltypen. Total gjødselmengde og tal gjødslingar varierer etter forventa avling og tal haustingar. Som for korn må det minimum vere med eit ledd med anbefalt/normal gjødsling og eit o-ledd, så kan forsøka utvidast dersom ein ynskjer å undersøke fleire forhold. Det kan til dømes vere å teste effektar av stripespreiing og nedfelling, gjødselmengde, gjødseltypar (urea), nitrifikasjonshemmarar og gjødseltidspunkt.

Tabell 3.2. Forslag til nye feltforsøk i gras (OM=organisk materiale)

Lokalisering	Nedbør	Jord	Gjødsling
Rogaland	1600-2000	Silt/sand Middels-høgt innhald av OM	3 x husdyrgjødsel + mineralgjødsel
Sogn og Fjordane	>2000	Siltig sand Høgt innhald av OM	2 x husdyrgjødsel + mineralgjødsel
Oppland	<600	Sand	2 x husdyrgjødsel + mineralgjødsel
Trøndelag	800-1100	Leirhaldig/letteire	2 x husdyrgjødsel + mineralgjødsel
Nordland	1100-1600	Sand/siltig sand	2 x husdyrgjødsel + mineralgjødsel

Ved planlegging og gjennomføring av måleprogram som er skissert ovanfor bør det settast ned ei tverrfagleg gruppe med kompetanse innanfor lystgassutslepp, agronomi, jord/jordkartlegging. I Norge er det aktuelt med nitrogengruppa ved NMBU (Peter Dörsch, Lars Bakken m.fl), NORSØK (Sissel Hansen) og ulike avdelingar i NIBIO (Synnøve Rivedal, Anders Aune, Aina Lundon Russenes, Ievina Sturite, Ove Klakegg m.fl). Også representantar frå YARA bør vere med dersom ulike mineralgjødseltypar og/eller tilsetningar som nitrifikasjonshemmarar skal vere med.

5 Frå Tier 1 til Tier 2 i Norge

I IPCC sine retningslinjer frå 2006 (kapittel 11) er det beskrevet kva som bestemmer kva slags Tier-metode som kan brukast for å estimere lystgassutslepp frå dyrka jord. Figur 11.2 i retningslinjene illustrerer eit beslutningstre for val av metode. Først stiller ein spørsmål om ein har nasjonale aktivitetsdata for dei ulike N-kjeldene. Dersom dette er ein nøkkelkategori og N-kjelda er forholdsvis stor må ein skaffe seg nasjonale aktivitetsdata. Neste spørsmål er om ein har dokumenterte, nasjonale utsleppsfaktorar for N-kjeldene. Dersom ein ikkje har dette brukar ein Tier 1 standard utsleppsfaktorar og nasjonale aktivitetsdata. Dersom ein kan dokumentere nasjonale utsleppsfaktorar brukar ein Tier 2-likninga med dei nasjonale utsleppsfaktorane eller Tier 3 metoden.

Likning 11.2 i retningslinjene beskriv utrekning av direkte lystgassutslepp frå mineralgjødsel-N og organisk gjødsel-N etter Tier 2 metoden, medan dei andre lystgassutsleppa frå jordbruksareal er estimerte etter Tier 1-metoden:

$$N_2O_{\text{Direkt-N}} = \sum_i (F_{SN} + F_{ON})_i \cdot EF_{i1} + (F_{CR} + F_{SOM}) \cdot EF_1 + N_2O\text{-N}_{OS} + N_2O\text{-N}_{PRP}$$

der:

$$N_2O_{\text{Direkt-N}} = \text{årleg direkte lystgass-N utslepp frå jordbruksareal, kg } N_2O\text{-N/år}$$

EF_{i1} = utsleppsfaktorar utvikla for N_2O -utslepp frå mineralgjødsel-N og organisk gjødsel-N under forholda i (kg $N_2O\text{-N/kg N}$ tilført); $i=1, \dots, n$.

EF_1 = utsleppsfaktor for N_2O -utslepp frå N-tilførsel, kg $N_2O\text{-N/kg N}$ tilført

F_{SN} = årleg mengde mineralgjødsel-N tilført jordbruksareal, kg N/år

F_{ON} = årleg mengde organisk gjødsel-N tilført jordbruksareal, kg N/år

F_{CR} = årleg mengde N i restavling returnert til jorda, kg N/år

F_{SOM} = årleg mengde N i mineraljord som blir mineralisert som følge av tap av jordkarbon frå organisk materiale i jord på grunn av endringar i arealbruk eller drift, kg N/år

F_{OS} = årleg areal organisk jord i drift, ha

F_{PRP} = årleg mengde N frå gjødsel og urin lagt frå seg av dyr på beite, kg N/år

Likninga over kan modifiserast på mange måtar etter kva som er viktig for det enkelte land, kva nasjonale utsleppsfaktorar som finst for dei enkelte N-kjeldene og kva aktivitetsdata ein har tilgang til.

Med bakgrunn i gjennomgangen av land som brukar nasjonale Tier 1-utsleppsfaktorar og Tier 2-metodikk og resultatane frå norske forsøk er det aktuelt å differensiere utsleppsfaktoren for lystgassutslepp i Norge mellom husdyrgjødsel og mineralgjødsel, engdyrking og åkervekstar (korn), mineraljord og organisk jord. Ein må også ta omsyn til klima (nedbør), dreneringstilstand, tekstur i jord, innhald av organisk materiale i jord og pH.

For husdyrgjødsel kan det vidare vere aktuelt å skilje mellom dyreslag, type gjødsel, spreietidspunkt og spreimetode. I Storbritannia skil ein mellom fastgjødsel og blautgjødsel, men dette er mindre aktuelt i Norge der berre ein svært liten del av gjødsla blir lagra og brukt som fastgjødsel. 65% av nitrogenet frå husdyrgjødsla i Norge kjem frå storfe, 13% frå sau og 12% frå svin. Med så stor del frå storfe er det usikkert om ein treng å differensiere mellom dyreslag. I Nederland differensierer ein mellom breispriing og nedfelling av husdyrgjødsel på eng. I Norge blir per i dag meir enn 80% av gjødsla

breispreidd, resten blir stripespreidd eller nedfelt. Vi har ikkje tal på kor stor del av gjødsla som blir nedfelt, men truleg utgjør dette ein liten del.

I Norge kan det vere aktuelt å skilje mellom spreietidspunkta vår og sommar sidan temperaturen i jord mellom tidspunkta kan vere svært ulik. Temperaturen påverkar nitrogenomsetninga i jord og dermed lystgassutsleppet.

For mineralgjødning differensierer både Irland og Storbritannia mellom ammoniumnitrat og urea fordi urea har gitt lågare lystgassutslepp enn ammoniumnitrat. I Norge blir det i hovudsak brukt ammoniumnitrat i form av ulike typar fullgjødning eller ammoniumnitrat med svovel. Det blir brukt svært lite urea, berre 0,06 % av omsett mengde N i 2017 (Mattilsynet 2018). Per i dag er det derfor ikkje behov for å differensiere mellom mineralgjødningstypar. Sidan ein i Norge oftast treng å tilføre andre næringsstoff enn nitrogen (kalium og fosfor) er det lite truleg at det kjem til å bli brukt meir urea framover. For å redusere utsleppa frå ammoniumnitrat kan det vere aktuelt å tilsette nitrifikasjonshemmarar. Det kan også tilsettast i husdyrgjødning.

5.1 Mineralgjødning/husdyrgjødning

Dersom feltforsøka i kapittel 3 blir gjennomførte bør ein kunne utvikle eigne utsleppsfaktorar for mineralgjødning og husdyrgjødning. Ein treng ikkje meir detaljerte aktivitetsdata enn det ein har i dag for mengde nitrogen i husdyrgjødning og mineralgjødning.

5.2 Eng/korn

Gjennom feltforsøka bør ein også kunne generere utsleppsfaktorar som kan brukast for eng og korn. Dersom ein ynskjer å skilje ut potet og grønnsaker må ein utføre målingar også i desse produksjonane. Det kan vere sterk N-gjødning til grønnsaker, men produksjonen utgjør lite i arealomfang.

Det bør vere mulig å skaffe aktivitetsdata for ei differensiering mellom eng og korn. Areal brukt til ulike vekstar kan hentast frå Landbruksdirektoratet sin statistikk over søknad om produksjonstillegg. For mengde nitrogengjødning brukt til ulike vekstar kan ein bruke anbefalt gjødselmengde og/eller informasjon frå utvalsbaserte gjødselundersøkingar. I gjødselundersøkinga frå 2013 (Gundersen og Heldal 2015) er det oppgitt mengde nitrogen både frå husdyrgjødning og mineralgjødning for ulike vekstar.

5.3 Organisk jord/mineraljord

Ein utsleppsfaktor for næringsfattig organisk jord bør kunne estimerast utifrå eksisterande feltforsøk på Fræna. Vi har ikkje målingar for næringsrik myr, men det bør vurderast å gjennomføra dersom ein skal differensiere mellom organisk jord og mineraljord. På organisk jord er det stort sett grovfôrproduksjon, så ein treng berre utsleppsfaktor for eng her. For mineraljord bør resultatane frå feltforsøka i kapittel 3 skaffe utsleppsfaktorar.

Storleiken på jordbruksareal i drift på organisk jord kjenner ein ikkje heilt eksakt, men det er estimert til rundt 600 000 daa med ein variasjon frå 450 000 til 700 000 daa (pers med. Knut Bjørkelo, Geir Harald Strand, NIBIO). Fordelinga mellom næringsrik og næringsfattig myr kjenner ein heller ikkje. Å få gode estimat for dette er viktig også med tanke på rapportering av lystgassutslepp per daa organisk jord i drift.

Mengde nitrogengjødning brukt på organisk jord kan estimerast utifrå anbefalt gjødning til eng og/eller informasjon frå gjødningundersøkingar.

5.4 Jordforhold på mineraljord

Det er nemnt fleire stader at jordforhold som ulik dreneringstilstand, innhald av organisk materiale, tekstur og pH er aktuelt å differensiere mellom ved utrekning av lystgassutslepp. Canada har i sin Tier 2 modell tatt omsyn til jordart og tekstur i tillegg til nedbør og andre forhold. For Norge vil dette kreve eit omfattande måleprogram av lystgassutslepp på ulike jordartar i ulike klimasoner for å generere ulike utsleppsfaktorar. Det er også utfordrande å skaffe nødvendige aktivitetsdata for dette.

I jordsmonnsstatistikken for Norge er jorda klassifisert etter naturleg dreneringstilstand (Lågbu et al. 2018), men vi har ikkje gode data for faktisk dreneringstilstand. Her har ein støtta seg på Landbruks- teljinga i 2010, men dette vil ikkje vere godt nok til vårt formål. Mykje av jordbruksarealet i Norge er ikkje jordsmonnskartlagt, dette gjeld særleg grovfôrareal på Vestlandet og i Nord-Norge og aktivitetsdata for andre jordforhold er også vanskeleg å skaffe. Det finst eit stort datagrunnlag for jord i bøndene sine egne jordanalyser. Dette inneheld opplysingar om jordart, innhald av organisk materiale, pH m.m., og kunne vore nytta på ein betre måte enn i dag.

5.5 Nedbør

I Storbritannia brukar ein normal årsnedbør i ulike distrikt som faktor i likninga for lystgassutslepp frå ammoniumnitrat. For at dette skal kunne gjerast i Norge må ein ha ei rekkje fleire feltforsøk enn det som er skissert i kapittel 3 for å skaffe utsleppsfaktorar som skal dekke dei ulike nedbørsforholda i Norge. På grunn av Norge sin topografi er det store variasjonar i nedbør over små avstandar, og å skaffe utsleppsfaktorane som skal leggest til grunn for ein slik modell vil derfor vere svært ressurskrevjande.

Når det gjeld aktivitetsdata har ein truleg tilstrekkeleg meteorologiske data for nedbør. Mengde nitrogen for husdyrgjødning blir skaffa gjennom søknad om produksjonstillegg og standardfaktorar for N-innhald i gjødning frå ulike gjødselslag. Etter det vi forstår kan dette differensierast på postnummernivå, og det vil dekke behovet. Salsstatistikken for nitrogen i mineralgjødning er i dag oppdelt etter fylke. Dersom dette ikkje er godt nok må det vere mulig å få ei meir finmaska inndeling, til dømes på kommunenivå.

5.6 Prioriteringar

I arbeidet med å gå frå Tier 1 til Tier 2 vurderer vi det som realistisk å utvikle ein modell som differensierer mellom mineralgjødning og organisk gjødning, mellom eng og korn og mellom organisk jord og mineraljord. Ein modell som tek omsyn til nedbør og ulike jordforhold vurderer vi som lite realistisk utifrå ressursane som må settast inn både for å skaffe aktuelle utsleppsfaktorar og aktivitetsdata.

5.7 Venta justeringar til reittleiaren frå IPCC

I mai 2019 kjem ein rapport med justeringar av reittleiaren frå 2006 (IPCC 2006) for det nasjonale utsleppsrekneskapet. Her er det venta ein standardfaktor på Tier 1-nivået for utslepp av $N_2O-N/kg\ N$ som er oppdelt etter klima og N-gjødseltype, i tillegg til den enkle standardfaktoren på 1%. Det blir

også opna for å rekne ut utsleppet etter ein eksponentiell funksjon av tilført N per arealeining, dersom tilgjengelege aktivitetsdata tillet dette. Tilstrekkeleg datagrunnlag gjer det aktuelt å bevege seg i retning av ein Tier 2 metode. Det er føreslege at vidare oppdeling kan baserast på nokre eller fleire av følgjande faktorar: Miljøfaktorar, som innhald av organisk materiale i jorda, jordtekstur, dreneringsgrad, pH i jorda, temperatur og tine-fryse-syklusar; Driftsforhold, som N-gjødslingsmengd per N-gjødseltype, vatning, og vekstslag med differensiering mellom belgvekstar og andre vekstar.

På grunn av svakt grunnlag av norske målingar under våre kjølege og stadvis svært våte forhold er det vanskelig å vurdere korleis dette vil verke på nøyaktigheita av våre utsleppsrapporteringar. Truleg vil ei oppdeling gje eit meir rett bilete i tråd med intensjonen.

Litteraturreferansar

- Canada NIR 2018. National Inventory Report 1990-2016: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada. United Nations Climate Change.
- Chadwick, D., Rees B., Bell M., Cardenas L., Williams J., Nicholson F., Watson C., McGeough K., Hiscock K., Smith P., Top K., Fitton N., Skiba U., Cowan N., Manning A., Misselbrook, T. 2016. Improvements to the national agricultural inventory – Nitrous oxide –The InveN2Ory Project (2010-2016). Final report – ACO116.
- Del Grosso, S.J., W.J. Parton, C.A. Keough, M. Reyes-Fox. 2011. Special features of the DAYCENT modeling package and additional procedures for parameterization, calibration, validation, and applications, in *Methods of Introducing System Models into Agricultural Research*, L.R. Ahuja and Liwang Ma, editors, p. 155-176, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI. USA.
- Del Grosso, S.J., W.J. Parton, A.R. Mosier, M.D. Hartman, J. Brenner, D.S. Ojima, D.S. Schimel. 2001. "Simulated Interaction of Carbon Dynamics and Nitrogen Trace Gas Fluxes Using the DAYCENT Model." In Schaffer, M., L. Ma, S. Hansen, (eds.). *Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management*. CRC Press. Boca Raton, Florida, 303-332.
- Dörsch, P., Heggset, S., Rivedal, S., Deelstra, J., Øpstad, S., Hansen S. 2017. Inversion of previously tile drained peat soil: I. Effects on greenhouse gas emissions. *Proceedings of the International Conference on Climate Smart Agriculture on Organic Soils* 23.-24.11.2017.
- Gundersen, G. I., Heldal J. 2015. Bruk av gjødselressurser i jordbruket 2013. Statistisk sentralbyrå.
- Hansen, S., Mæhlum, J.E., Bakken, L.R. 1993. N₂O and CH₄ fluxes in soil influenced by fertilization and tractor traffic. *Soil Biol. Biochem.* 25. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90202-M](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90202-M)
- Hansen, S., Bernard, M. E., Rochette, P., Whalen, J. K., Dörsch, P. 2014. Nitrous oxide emissions from a fertile grassland in Western Norway following the application of inorganic and organic fertilizers. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 98(1), 71-85.
- Hansen, S., Rivedal, S. 2013. Lystgassutslepp ved ulik drenering. *Bondevennen* 116, 26/27:16-17.
- Hansen, S., Rivedal, S., Øpstad, S., Heggset, S., Deelstra, J., Dörsch, P. 2016. Greenhouse gas emissions and agronomic feasibility for forage production on inverted peat soil. *The Multiple Roles of Grassland in the European Bioeconomy*, 2 (3), 771-773.
- Harty, M. A., Forrestal, P. J., Watson, C. J., McGeough, K. L., Carolan, R., Elliot, C., Lanigan, G. J. 2016. Reducing nitrous oxide emissions by changing N fertiliser use from calcium ammonium nitrate (CAN) to urea based formulations. *Science of the Total Environment*, 563, 576-586.
- Hovlandsdal, L. 2011. Langtidseffekten av kalking på lystgassemissjonen frå dyrka organisk jord. Masteroppgåve NMBU, Ås.
- IPCC 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Irland NIR 2018. Ireland national inventory report 2018. Greenhouse gas emissions 1990–20016 reported to the United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations Climate Change.
- Johansen, A. 1997. Myrarealer og torvressurser i Norge. *Jordforsk Rapport* 1/97, 21 s.
- Landbruksdirektoratet 2018. https://www.landbruksdirektoratet.no/filserver/statistikkgrafikk/pt-912_2018_fylke.html

- Lågbu, R., Nyborg, Å. A., Svendgård-Stokke, S. 2018. Jordsmonnstatistikk Norge. NIBIO Rapport 4 (13), 75 s.
- Mattilsynet 2018. Mineralgjødselstatistikk 2016-2017.
https://www.mattilsynet.no/planter_og_dyrking/gjodsel_jord_og_dyrkingsmedier/mineralgjodsel_og_kalk/mineralgjodselstatistikk_2016_2017.29547/binary/Mineralgj%C3%B8dselstatistikk%202016%20-%202017
- Nadeem, S., Børresen, T., Dörsch, P. 2014. Effect of fertilization rate and ploughing time on nitrous oxide emissions in a long-term cereal trail in south east Norway. *Biology and fertility of soils*, 51(3), 353-365.
- Nederland NIR 2018. Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990–2016 National Inventory Report 2018. National Institute for Public Health and the Environment. United Nations Climate Change.
- Norge NIR 2018. Greenhouse Gas Emissions 1990-2016, National Inventory Report. United Nations Climate Change.
- Parton, W.J., Hartman, M.D., Ojima, D.S., Schimel, D.S. 1998. "DAYCENT: Its Land Surface Submodel: Description and Testing." *Glob. Planet. Chang.* 19: 35-48.
- Petersen, S. O., Olesen J. E. 2018. Opstart af måleprogram til bestemmelse af emissionsfaktorer for lattergass. Notat med besvarelse av spørsmål om nationale emissijsjonsfaktorer og revision af IPCC guidelines. Aarhus Universitetet.
- Potter, C., Klooster, S., Huete, A., Genovese, V. 2007. Terrestrial carbon sinks for the United States predicted from MODIS satellite data and ecosystem modeling. *Earth Interactions* 11, Article No. 13, DOI 10.1175/EI228.1.
- Potter, C. S., Randerson, J.T., Fields, C.B., Matson, P.A., Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Klooster, S.A. 1993. "Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data." *Global Biogeochemical Cycles* 7:811-841.
- Rivedal, S., Løes, A., Hansen, S. 2012. Lystgassemissjon frå eng under ulike drift på moldrik jord på Vestlandet – Jordlyst. Sluttrapport til Landbruksdirektoratet:
https://www.landbruksdirektoratet.no/no/miljo-og-okologisk/klima-og-miljoprogrammet/prosjekter-stottet-inntil-2012/utslipp/_attachment/34653?ts=1436828dca8
- Roche, L., Forrestal, P. J., Lanigan, G. J., Richards, K. G., Shaw, L. J., Wall, D. P. 2016. Impact of fertiliser nitrogen formulation, and N stabilisers on nitrous oxide emissions in spring barley. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 233, 229-237.
- Rochette, P., Worth, D. E., Lemke, R. L., McConkey, B. G., Pennock, D. J., Wagner-Riddle, C., Desjardins, R. J. 2008. Estimation of N₂O emissions from agricultural soils in Canada. I. Development of a country-specific methodology. *Canadian Journal of Soil Science*, 88(5), 641-654.
- Rodhe, L., Pell, M., Yamulki, S. 2006. Nitrous oxide, methane and ammonia emissions following slurry spreading on grassland. *Soil use and management*, 22(3), 229-237.
- Russenes, A. L., Korsæth, A., Bakken, L. R., Dörsch, P. 2016. Spatial variation in soil pH controls off-season N₂O emission in an agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 99, 36-46.
- SSB 2018. <https://www.ssb.no/statbank/table/04607/tableViewLayout1/>
- Storbritannia NIR 2018. UK Greenhouse Gas Inventory, 1990 to 2016. Annual Report for Submission under the Framework Convention on Climate Change. United Nations Climate Change.

- Sturite, I., Rivedal, S., Dörsch, P. 2014. Effects of fertilization and soil compaction on nitrous oxide (N₂O) emissions in grassland. In: Hopkins, A. et al. (eds). EGF at 50: The Future of European Grasslands. 19: 94-96. Proceedings of the 25th Symposium, EGF, Aberystwyth, Wales, 7.-11. September 2014.
- Tesfai, M., Hauge, A., & Hansen, S. 2015. N₂O emissions from a cultivated mineral soil under different soil drainage conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 65(sup1), 128-138.
- Topp, C. F. E., Anthony, S., Smith, K.E., Thorman, R.E., Cardenas, L., Chadwick, D., Rees, R.M., Misselbrook, T. 2016. The development of the UK country specific emission factors for N₂O emissions from agricultural soils. Report to Defra as part of project AC0114.
- USDA-NRCS 2015. Summary Report: 2012 National Resources Inventory, Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C., and Center for Survey Statistics and Methodology, Iowa State University, Ames, Iowa.
http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd396218.pdf
- USA NIR 2018. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2016. United Nations Climate Change.
- Velthof, G.L., Mosquera, J. 2011. Calculation of nitrous oxide emission from agriculture in the Netherlands. Update of emission factors and leaching fraction. Alterra Report 2151, Alterra Wageningen UR, Wageningen, the Netherlands.
- Velthof, G. L., Mosquera, J., Hummelink, E. W. J. 2010. Effect of manure application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils (No. 1992). Alterra Report 1992, Alterra Wageningen UR, Wageningen, the Netherlands.
- Vonk, J., Bannink, A., van Bruggen, C., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., van der Kolk, J.W.H., Luesink, H.H., Oude Voshaar, S.V., van der Sluis, S.M., Velthof, G.L. 2018. Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations of CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ with the National Emission Model for Agriculture (NEMA). WOT-report 2018.53. WOT Nature and Environment, Wageningen.
- Yang, J.Y., De Jong, R., Drury, C.F., Huffman, E., Kirkwood, V., Yang, X.M. 2007. Development of a Canadian agricultural nitrogen model (CANB v2.0): simulation of the nitrogen indicators and integrated modeling for policy scenarios. *Canadian Journal of Soil Science* 87, 153–165.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.