



KVÆLSTOFUDVASKNING OG GØDNINGSVIRKNING VED ANVENDELSE AF AFGASSET BIOMASSE

PETER SØRENSEN OG CHRISTEN DUUS BØRGESEN

DCA RAPPORT NR. 065 · SEPTEMBER 2015



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



Kvælstofudvaskning og gødningsvirkning ved anvendelse af afgasset biomasse

Supplerende oplysninger og præciseringer (oktober 2019)

I bestræbelsen på at rapporten lever op til Aarhus Universitetets retningslinjer for transparens og deklareret af eksternt samarbejde gives følgende supplerende oplysninger og præciseringer, som er udarbejdet i samarbejde mellem forsker(e) og AU/STs dekanat:

Som det fremgår af rapportens forord, har den faglige følgegruppe haft lejlighed til at kommentere udkast til projektbeskrivelsen. Følgegruppen har haft indflydelse på valg af relevante scenarier, men ikke på den valgte metode til beregning af effekter.

Som det også fremgår af rapportens forord, har den faglige følgegruppe haft lejlighed til at kommentere udkast til rapporten. Kommentarerne havde karakter af forståelsesmæssige præciseringer.

KVÆLSTOFUDVASKNING OG GØDNINGSVIRKNING VED ANVENDELSE AF AFGASSET BIOMASSE

DCA RAPPORT NR. 065 · SEPTEMBER 2015



Peter Sørensen og Christen Duus Børgesen

Aarhus Universitet
Institut for Agroøkologi
Blichers Allé 20
Postboks 50
8830 Tjele

KVÆLSTOFUDVASKNING OG GØDNINGSVIRKNING VED ANVENDELSE AF AFGASSET BIOMASSE

Serietitel: DCA rapport
Nr.: 065
Forfatter: Peter Sørensen og Christen Duus Børgesen
Udgiver: DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Blichers Allé
20, postboks 50, 8830 Tjele. Tlf. 8715 1248, e-mail: dca@au.dk,
hjemmeside: www.dca.au.dk
Rekvirent: Energistyrelsens Biogas Taskforce i samarbejde med Miljøstyrelsen
og NaturErhvervstyrelsen
Forsidefoto: AU Foto
Tryk: www.digisource.dk
Udgivelsesår: 2015
Gengivelse er tilladt med kildeangivelse
ISBN: 978-87-93176-93-5
ISSN: 2245-1684
Rapporterne kan hentes gratis på www.dca.au.dk

Videnskabelig rapport

Rapporterne indeholder hovedsageligt afrapportering fra forskningsprojekter, oversigtsrapporter over faglige emner, vidensynteser, rapporter og redegørelser til myndigheder, tekniske afprøvninger, vejledninger osv.

Forord

Formålet med denne rapport er at vurdere forskellen i kvælstofudvaskning og gødningsvirkning ved anvendelse af forskellige biomasser i såvel rå som afgasset form i forskellige situationer og under varierende forudsætninger, herunder også kvælstofudvaskningen under hensyntagen til tidshorizonten.

Ud over de miljømæssige effekter af bioforgasning (N-udvaskningen) ønskes en sammenlignende vurdering af hvorledes gødningsvirkningen og dermed de produktionsmæssige forhold ændres mellem de beskrevne scenarier.

Rapporten er et produkt fra projektet: Kvælstofudvaskning og gødningsvirkning ved anvendelse af organisk gødning.

Projektet er igangsat og finansieret af Energistyrelsens Biogas Taskforce i samarbejde med Miljøstyrelsen og NaturErhvervstyrelsen. Projektet er blevet til i dialog med en faglig følgegruppe, bestående af:

Lars Stoumann Jensen, Københavns Universitet

Erik Kolding, Skive Kommune

Brian Daniel Bak, Holstebro Kommune

Eva Folke, Tønder Kommune

Christen Duus Børgesen, Aarhus Universitet

Torben Ravn Pedersen, Landbo-Limfjord

Torkild Birkmose, AgroTech

Linda Bagge, Miljøstyrelsen

Wibke Christel, Miljøstyrelsen

Bodil Harder, Energistyrelsen

Nikolaj Ludvigsen, Miljøstyrelsen

Anders Fredenslund, Naturstyrelsen, Biogas Rejsehold

Mette Thomsen, NaturErhvervstyrelsen

Ida Marie Retoft, NaturErhvervstyrelsen

Den faglige følgegruppe har holdt to møder og haft lejlighed til at kommentere udkast til projektbeskrivelse og rapport. Forfatterne takker for godt samarbejde med Følgegruppen. En tidligere udgave af rapporten er gennemlæst af seniorforsker Finn P. Vinther.

Peter Sørensen og Christen Duus Børgesen
Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Indholdsfortegnelse

Forord	3
Indholdsfortegnelse.....	6
Sammendrag og konklusioner	8
Summary and conclusions	9
1. Baggrund.....	10
2. Effekter af organisk gødning og bioforgasning på N-udvaskning	12
2.1. Effekter af bioforgasning på udnyttelseskrav og total N tilførsel	12
2.2. Beregning af udvaskning fra tilført organisk og uorganisk N	14
2.3. Forhold mellem organisk og uorganisk N i gødning.....	19
2.4. Øvrige faktorer af betydning for N-udvaskning i forbindelse med bioforgasning	20
3. N-udvaskning beregnet i forskellige scenarier med og uden bioforgasning	22
3.1. Effekter af anvendelse af energiafgrøde og ”nyt” affald i biogasproduktionen.....	28
4. Effekter af bioforgasning på gødningsvirkning og udbytter	31
5. Andre danske modeller til beregning N-udvaskning ved anvendelse af husdyrgødning og bioforgasning	36
6. Konklusioner.....	38
Litteratur.....	39
Appendiks A. Sammenligning af kvælstofudvaskning målt efter tilførsel af uorganisk N og organisk N i gødning.	41

Sammendrag og konklusioner

Ved bioforgasning af organisk gødning omdannes en del af det organisk bundne kvælstof (N) i gødningen til uorganisk N. Det har betydning for gødningens N-virkning og også betydning for N-udvaskningen. I denne rapport er gennemført beregninger af N-udvaskning ved anvendelse af ubehandlet eller afgasset organisk gødning med en ny simpel model, idet eksisterende modeller vurderes at beskrive den langsigtede udvaskning fra organisk gødning utilfredsstillende. Ændringerne, der sker i forholdet mellem uorganisk N og organisk N ved afgasning, har især betydning for den langsigtede N-udvaskning, og den anvendte model kan anvendes til beregning af den langsigtede effekt af bioforgasning på udvaskningen. På basis af revurdering af en række forsøg, hvor udvaskningen efter tilførsel af handelsgødning og husdyrgødning er undersøgt, er det fundet, at udvaskningen fra organisk N og uorganisk tilnærmelsesvis er ens i første år efter tilførslen. Ud- vaskningen fra uorganisk N og organisk N i organisk gødning i første år efter tilførslen er beregnet med N-LES4-modellen. Den langsigtede udvaskning fra mineraliseret organisk N, der er tilbage i jorden 1 år efter tilførsel af gødning antages at udvaskes med en udvaskningsfaktor, der er dobbelt så høj som udvasknings- faktoren for tilført uorganisk N, og tidsforløbet for udvaskning er beregnet med en simpel mineraliserings- model. Med de nuværende udnyttelseskrav til afgasset biomasse er der beregnet uændret udvaskning efter første år i forhold til tilførsel af ubehandlet biomasse, mens der over en 10-årig horisont kan forventes en reduktion i udvaskningen på 1,0-2,7 kg N/dyreenhed afhængigt af jordtype og gødningstype. Over en 50-årig horisont er den tilsvarende reduktion i udvaskningen beregnet til 1,5-4,2 kg N/dyreenhed. Der er gennem- regnet scenarier med forskellige kombinationer af husdyrgødning og biomasser. Ændringer i N-udvaskning og gødningsvirkning efter bioforgasning er estimeret med nuværende og øgede udnyttelseskrav til afgasset gødning, og ved anvendelse af øgede udnyttelseskrav opnås en reduktion i N-udvaskningen allerede i første år efter tilførsel. Stigende andel af tilført energiafgrøde, som f.eks. majsensilage medfører mindre reduktion af N udvaskningen efter bioforgasning, og ved tilførsel af mere end 10 % af samlet N til biogasanlæg med energiafgrøde beregnes øget langsigtet N udvaskning i forhold til tilførsel af ubehandlet husdyrgødning. Til- svarende effekter fås ved tilførsel af "nyt" affald, der ellers ikke ville blive tilført landbrugsjord uden en bio- forgasning.

Den forventede gødningsvirkning af både ubehandlet og afgasset gødning er estimeret til at være proportio- nal med andelen af uorganisk N i gødningen i tilførselsåret. Den potentielle gødningsvirkning i tilførselsåret forventes at øges med 10-15 kg N/dyreenhed efter bioforgasning. Til gengæld vil der være en lavere eftervirk- ning af den afgassede gødning i årene efter tilførslen, og den langsigtede effekt på gødningsvirkningen for- ventes kun at være omkring det halve af gødningsvirkningen i tilførselsåret, svarende til en øget gødnings- virkning på 5-8 kg N/dyreenhed.

Summary and conclusions

Title: Effects of anaerobic digestion of organic manures on nitrogen leaching and manure fertilizing effects

Part of the organically bound nitrogen (N) in manure and organic waste is converted to inorganic N by anaerobic digestion in biogas plants, and it influences both the fertilizer value of the manure and N leaching. In this report calculation of long-term N leaching was compared after application of untreated or digested manures using a new simple model. The change occurring in the relationship between inorganic N and organic N by digestion is particularly important for the long-term leaching of N, and the model was used to calculate the long-term impact of digestion on N leaching. Based on a review of a number of old experiments in which N leaching after application of mineral fertilizer and manure were compared, we found that leaching from organic N and inorganic N is approximately similar in the first year after application. We used the N-LES4 model to estimate the first-year leaching from application of inorganic N and organic N in fertilizers. The long term leaching of mineralized organic N, that is left in soil one year after the application of organic fertilizer, is assumed to be leached with a leaching factor that is twice as high as that for spring-applied inorganic N, and the time course of leaching was calculated using a simple mineralization model. With the current utilization requirements for digested biomass an unchanged N leaching is estimated after the 1st year relative to the supply of untreated biomass, while over a 10 year horizon a reduction in N leaching of 1.0 to 2.7 kg N /livestock unit (LU=100 kg N) is estimated depending on the soil and fertilizer type. Over a 50-year horizon, the corresponding reduction in N leaching after digestion is estimated to 1.5 to 4.2 kg N /LU. Scenarios with different combinations of manure and biomass were compared. Changes in N leaching and fertilizer effect after digestion were also estimated using current and increased utilization requirements for digested manure. Utilization of bioenergy crops like maize-silage in biogas production was estimated to increase N leaching depending on the proportion of N supplied with the energy crop. By use of high proportions of maize silage N leaching can exceed that from untreated manure. Similar effects can be expected if new wastes are introduced for land application using anaerobic digestion.

The expected first-year fertilizer effect of both untreated and digested manure is expected to be proportional to the share of inorganic N in the manure. The potential first-year fertilizer effect is expected to increase by 10-15 kg N /LU after digestion. However, there will be a lower residual effect of the digested manure in the years after the application, and the long-term fertilizer effect is only expected to be half the first year increase and equivalent to 5-8 kg N/LU.

1. Baggrund

Når gylle afgasses i et biogasanlæg, sker der en nedbrydning af organisk stof i gyllen og dermed en mineralisering af en del af det organisk bundne kvælstof. Gyllen får dermed et lavere indhold af organisk kvælstof og et højere indhold af uorganisk, plantetilgængeligt kvælstof (ammonium). Dette kan øge afgrødernes udnyttelse af kvælstoffet i gyllen og give et højere høstudbytte.

Samtidig kan nitratudvaskningen mindskes, da en større del af kvælstoffet bliver optaget af planterne i vækstsæsonen, og der dermed er mindre tilbage i jorden, som kan mineraliseres og udvaskes i løbet af kommende efterår og vintre.

Gødningsreglerne lægger et loft over, hvor meget tilgængeligt kvælstof, der samlet må tilføres afgrøderne i handelsgødning og organiske gødninger. I dag er gødningsnormerne (tilgængeligt kvælstof) fastsat ca. 16-18 pct. under det niveau, der ville være økonomisk optimalt for landmanden at tilføre. Den maksimale mængde tilført total N afhænger imidlertid af de fastsatte udnyttelsesprocenter for de enkelte organiske gødningstyper, der evt. anvendes.

Hvad der konkret må udbringes af handelsgødning på en mark beregnes ud fra gødningstypernes indhold af kvælstof og udnyttelseskravet til kvælstof i hver enkelt organisk gødningstype. Udnyttelseskravet afgør derfor, hvor meget handelsgødning, der kan udbringes ud over den organiske gødning, indtil man når loftet i form af kvælstofkvoten for hele ejendommen.

På biogasanlægget bliver husdyrgødningen ofte blandet med dybstrøelse, affald eller andre biomasser, som også indeholder kvælstof. Udnyttelseskravet til afgasset gødning fastsættes ud fra et vægtet gennemsnit af udnyttelseskravet til de gødningstyper og biomasser, som indgår. Udnyttelseskravet til dybstrøelse og affald er typisk 40-45 pct., da det meste af kvælstoffet her er organisk bundet og dermed mindre tilgængeligt for planterne på kort sigt. Disse udnyttelsesprocenter for ubehandlet organisk gødning har været gældende i mere end 10 år og baserer sig bl.a. på et fagligt grundlag, der er tilvejebragt af DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet (Petersen og Sørensen, 2008).

En bedrift kan altså f.eks. aflevere svinegylle med et udnyttelseskrav på 75 pct. til et biogasanlæg og få en afgasset blandet gylle tilbage med et samlet udnyttelseskrav på 70 pct., fordi der er blandet affald eller dybstrøelse i, selv om den reelle forventede gødningsvirkning i marken måske er 80 pct. Landmanden vil her have mulighed for at udbringe mere tilgængeligt kvælstof totalt set. Hvilken indflydelse det har på udvaskningen er behandlet i denne rapport.

Der er i øjeblikket (2014-15) en større biogasudbygning i gang: 5 – 6 nye store anlæg er under opførelse og biogasproduktionen forventes mere end fordoblet inden 2020. Mange kommuner er derfor i gang med at lave miljøgodkendelser og godkende nye arealer til udsprejning af afgasset biomasse fra biogasanlæg. Der er behov for at disse godkendelser sker på et solidt fagligt grundlag. Den tidligere regering satte et mål om, at op til 50 % af husdyrgødningen i Danmark skulle afgasses i 2020. I øjeblikket afgasses knap 3 mio. tons husdyr-

gødning, svarende til ca. 8 % af husdyrgødningsproduktionen, og hvorvidt målsætningen på 50 % opnås er derfor tvivlsom. Målsætningen om øget afgang indgår dog som et strategisk mål, som også understøtter regeringens ressourcestrategi for affald.

Energistyrelsen har implementeret bæredygtighedskriterier for biogas i form af en begrænsning på hvor mange energiafgrøder, der må anvendes i produktionen, hvis den producerede biogas skal kunne opnå driftsstøtte. Begrænsningen gælder fra 2015, hvor der højst må anvendes 25 % energiafgrøder målt i ton input (våd vægt) og fra 2018 er grænsen 12 %. Bæredygtighedskriterierne betyder, at biogasproducenterne fra 2015 skal indberette, hvilke biomasser de anvender til produktionen mere detaljeret end hidtil¹. I 2013 udgjorde energiafgrøder ca. 1,5 % af biomassegrundlaget, men der forventes en stigende anvendelse ved den kommende udbygning².

Miljøministeriet og Fødevarerministeriet har sat et arbejde i gang omkring udvikling af en målrettet arealregulering, som inddrager anvendelsen af organiske gødningstyper i en generel regulering. Formålet er, at der i landmandens indberetning til gødningsregnskabet tages højde for den mer-udvaskning som anvendelse af organiske gødningstyper måtte afstedkomme i forhold til anvendelse af handelsgødning (uorganisk gødning). Rå og afgasset biomasse skal i den forbindelse indgå med udnyttelseskrav, som gør, at udspredningen ikke påvirker miljøet væsentligt og giver anledning til en merudvaskning af næringsstoffer.

I det følgende gennemgås grundlaget for en ny simpel model til beregning af N-udvaskning i forbindelse med anvendelse af organisk gødning, inklusive effekten af bioforgasning ved samforgasning af forskellige udvalgte biomasser. Endvidere er der gennemført beregninger af effekter af bioforgasning på gødningsvirkning af den afgassede biomasse. Det skal bemærkes, at de beregnede effekter er baseret på biomasser, der er behandlet i gennemløbs-biogasanlæg uden betydelig forbehandling af biomassen før afgang.

¹ <http://www.ens.dk/info/nyheder/nyhedsarkiv/energistyrelsen-naturerhvervstyrelsen-samarbejder-biogas>
<http://www.ens.dk/info/nyheder/nyhedsarkiv/krav-baeredygtig-biogas-2015>

² <http://www.ens.dk/info/nyheder/nyhedsarkiv/brug-majs-energiafgrøder-biogas-falder>

2. Effekter af organisk gødning og bioforgasning på N-udvaskning

Effekten af bioforgasning på N-udvaskning kan forventes at være bestemt af, om der sker ændringer i den samlede N-tilførsel efter bioforgasningen, samt af ændringer i forholdet mellem organisk bundet N og uorganisk N i gødningen ved bioforgasningen. På lang sigt vil der være en større udvaskning fra organisk bundet N end fra uorganisk N.

2.1. Effekter af bioforgasning på udnyttelseskrav og total N tilførsel

Med de gældende regler beregnes et udnyttelseskrav for den afgassede gødning, der er vægtet i forhold til udnyttelseskravet for de gødninger, der tilføres biogasanlægget (se eksempel i Tabel 1). Det betyder, at det samlede udnyttelseskrav er uændret efter behandlingen, og dermed vil den samlede tilførsel af N med og uden bioforgasning også være uændret. Kun i enkelte situationer hvor biogasanlæg tilføres "nye" affaldsprodukter, som ellers normalt ikke tilføres landbrugsjord, kan der ske en øget N-tilførsel, f.eks. hvis der tilføres produkter, der normalt forbrændes som f.eks. husholdningsaffald. Endvidere vil anvendelse af en energigraføde, som f.eks. majsensilage medføre en øget N tilførsel, idet udnyttelseskravet til den afgassede energigraføde er lavere end for den handelsgødning den erstatter.

Ved beregning af mængden af N i afgasset gødning, der skal indgå i gødningsregnskaberne, kan biogasanlægget vælge mellem at beregne mængden på basis af tilførte N mængder baseret på normindhold, eller man kan beregne N mængden ud fra den registrerede fraførte gødning og jævnlige laboratorie-analyser af total N i den afgassede gødning. Mange biogasanlæg vælger den sidstnævnte løsning. Hvis prøveudtagning sker omhyggeligt, vil opgørelsen baseret på jævnlig analyse være i bedst overensstemmelse med de faktiske mængder, idet man oftest må forvente afvigelser fra normtallene i praksis. Dette vil typisk medføre, at en opgørelse af fraført N (baseret på måling) ikke stemmer overens med tilført N (baseret på normtal).

Ved etablering af nye biogasanlæg i et område, f.eks. et vandopland, kan det betyde, at der importeres ekstra biomasse fra et andet område. Det betyder, at der tilføres mere total N til området/oplandet, hvis ikke der sker en tilsvarende eksport af N med afgasset biomasse ud af området igen. Det vil alt andet lige medføre, at N udvaskningen stiger i det pågældende område, men samtidigt sker der et tilsvarende fald i det område, hvorfra biomassen importeres.

I forbindelse med biogasanlæg og anvendelse af afgasset biomasse eksisterer der forskellige grænser for, hvor stor en andel husdyrgødning skal udgøre i henholdsvis Slambekendtgørelsen og i bekendtgørelsen om tilskud til biogasanlæg. Ved tilførsel af affald vil man skulle holde sig inden for slambekendtgørelsen for, at den afgassede gødning kan anvendes på samme betingelser som husdyrgødning. **Slambekendtgørelsen**³ Kapitel 4: "Opbevaring og anvendelse af affald, der tilføres husdyrgødningsbaserede biogas- eller forarbejdningsanlæg§ 10. Hvis det afgassede affald indeholder **mere end 75 % husdyrgødning regnet på tørstofbasis** før afgasning, finder reglerne om opbevaring og anvendelse af forarbejdet husdyrgødning i bekendtgørelse om erhvervsmæssigt dyrehold, husdyrgødning, ensilage mv. anvendelse".

³ <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=13056>

Biogasanlæg, der ikke anvender affald, men som har modtaget anlægstilskud, skal holde sig inden for følgende grænse i **Bekendtgørelse om tilskud til biogasanlæg**⁴:

”§ 11. Det er en betingelse for tilsagn om tilskud, at **husdyrgødning udgør mindst 75 pct.** i gennemsnit pr. år af den **biomasse målt i tons**, der anvendes til produktionen af biogas”.

Det gør oftest en stor forskel om forholdet beregnes på basis af tørstof eller aktuel vægt, som det fremgår af Tabel 1.

Tabel 1. Eksempler på beregning af udnyttelseskrav for afgasset biomasse på basis af udnyttelseskrav for de indgående gødninger før behandling, hvor andelen af husdyrgødning er baseret på tørstof (TS) eller vægt.

Gødningstype	TS %	TS andel	Kg N/kg TS	N andel	Udnyttelseskrav %	Vægtet udnyttelseskrav %
<i>75 % TS i blandet gylle og 25 % TS i affald</i>						
Gylle (50 % N kvæg + 50 % N svin)	5,9	0,75	0,074	0,89	72,5	
Affald		0,25	0,028	0,11	40	68,9
<i>75 % TS i svinegylle og 25 % TS i majsensilage</i>						
Svinegylle	4,31	0,75	0,098	0,96	75	
Majsensilage	32	0,25	0,013	0,04	40	73,5
<i>75 % vægt i svinegylle og 25 % vægt i majsensilage</i>						
Svinegylle	4,31	0,29	0,098	0,76	75	
Majsensilage	32	0,71	0,013	0,24	40	66,5
<i>88 % vægt i svinegylle og 12 % vægt i majsensilage</i>						
Svinegylle	4,31	0,50	0,098	0,88	75	
Majsensilage	32	0,50	0,013	0,12	40	70,9
<i>75 % vægt i kvæggylle og 25 % vægt i majsensilage</i>						
Kvæggylle	7,41	0,41	0,049	0,73	70	
Majsensilage	32	0,59	0,013	0,27	40	61,8
<i>88 % vægt i kvæggylle og 12 % vægt i majsensilage</i>						
Kvæggylle	7,41	0,63	0,049	0,87	70	
Majsensilage	32	0,37	0,013	0,13	40	66,0

Bekendtgørelse nr. 862 af 27. august 2008 fastsætter, at organisk gødning skal indeholde mindst 2 % N i tørstof eller 3 % N+ P+ K i tørstof⁵. Hvis et materiale ligger under denne grænse, kan det betegnes som et jordforbedringsmiddel, der ikke har noget udnyttelseskrav. Det er dog anført i ”Vejledning om gødsknings- og harmoniregler 2014-15” (s.49), at organisk materiale, der indeholder mere end 3 kg N pr. tons foreliggende vægt, skal medtages i gødningsregnskabet, og ligeledes produkter, som kategoriseres som affald i henhold til Miljøministeriets slambekendtgørelse, og som udbringes til jordbrugsformål, fx spildevandsslam⁶.

⁴ <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=141185>

⁵ <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=115813>

⁶ http://naturerhverv.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedsknings-og_harmoniregler_nyeste.pdf

Det betyder, at selv produkter med et lavt indhold af kvælstof, som f.eks. majsensilage og halm, skal medtages i gødningsregnskabet jf. opgørelse af næringsstofindhold i biomasser i Tabel 2.

Tabel 2. Indhold af næringsstoffer i forskellige udvalgte typer biomasse. Data fra Fodermiddeltabel (2000).

Materiale/biomasse	% TS	kg N/ton	N % i TS	P % i TS	K % i TS	NPK % i TS
Majsensilage	32	4,2	1,3	0,26	1,2	2,7
Byghelsædensilage	36	6,1	1,7	0,29	1,7	3,7
Foderroe, rod	18	2,2	1,2	0,17	2,1	3,5
Sukkerroe, rod	22	2,0	0,9	0,17	2,1	3,2
Enggræs	18	4,0	2,2	0,28	1,8	4,3
Vårbyghalm	85	5,4	0,64	0,09	2,0	2,7
Hvedehalm	85	4,3	0,5	0,09	1,5	2,1
Fiskemel	94	111	11,8	1,9	1,2	14,9
Fiskeensilage	24	26	11	1,8	-	12,8

2.2. Beregning af udvaskning fra tilført organisk og uorganisk N

I hidtidige vurderinger af effekter af bioforgasning på N-udvaskningen er anvendt simple beregningsmodeller, hvor der er anvendt en marginal udvaskningsfaktor på 30 % for uorganisk N og 45 % for organisk N (på langt sigt). Denne vurdering har primært været baseret på N-LES3 modellen og suppleret med ekspertskøn (Sørensen & Vinther, 2012; Jensen et al., 2014), og dækker over et gennemsnit for ler- og sandjorde. **Marginaludvaskningen er defineret som den ekstra N-udvaskning, der sker efter tilførsel af yderligere 1 kg N/ha.**

Vi har i denne rapport valgt at revurdere udvaskningsfaktorerne, og har i det følgende anvendt disse reviderede udvaskningsfaktorer, samt anvendt separate faktorer for sand- og lerjord. Endvidere beregnes tidsforløb for mineralisering af organisk N i gødning, idet det har betydning for den langsigtede udvaskning.

N-LES4-modellen er anvendt til estimering af marginaludvaskning fra tilført uorganisk N, idet vi vurderer denne model til at give de mest realistiske estimater. I beregning af N-udvaskning med N-LES4-modellen indgår dels mængden af uorganisk N tilført i pågældende år, og endvidere er der en effekt af de forrige fem års tilførsler af total N, hvori uorganisk N også indgår (Kristensen et al. 2008). N-LES4-modellen tager således ikke hensyn til eftervirkninger ud over de første fem år, hverken for handelsgødning eller husdyrgødning. Der vil også være en lille langsigtet effekt af uorganisk N på udvaskningen ud over de første fem år, men den er ikke indregnet i det følgende, idet den antages at være ubetydelig, og uden betydning ved sammenligninger mellem afgasset og ikke-afgasset gødning.

Marginaludvaskningen i N-LES4 varierer kun lidt med N-tilførslen, selvom nogle forsøg har vist, at marginaludvaskningen kan stige med stigende gødningsniveau (Goulding et al. 2000; Petersen & Djurhuus, 2004). Den målte N-udvaskning i en række danske forsøg har vist en næsten lineær sammenhæng mellem tilført N-mængde og N-udvaskning (Appendiks A), så længe N-tilførslen er under eller omkring det økonomisk optimale, hvilket er i overensstemmelse med N-LES4-modellen. I praksis forventes gødningsniveauet under danske forhold oftest at være inden for et interval svarende til 60-100 % af den økonomisk optimale tilførsel med de nuværende normer, og inden for dette interval vil der kun være en begrænset stigning i marginaludvaskningen med stigende N-niveau, som i N-LES4.

Tabel 3. Typesædskifter anvendt i denne rapport og marginal N udvaskning ved anvendelse af uorganisk N gødning i typesædskifter beregnet med N-LES4-modellen (Kristensen et al. 2008).

Mark	Afgrøde	N-norm kg N/ha	Marginal udvaskningsfaktor kg N/kg N
<i>Planteavl/svin JB3 vandet</i>			
1	Vinterraps	175	0,25
2	Vinterhvede	147	0,23
3	Vinterhvede m efterafg	156	0,20
4	Vårbyg	129	0,21
Gns		152	0,22
<i>Planteavl/svin JB6</i>			
1	Vinterraps	181	0,13
2	Vinterhvede	147	0,13
3	Vinterhvede m efterafg	156	0,11
4	Vårbyg	116	0,11
Gns		150	0,12
<i>Kvægbrug JB3 vandet</i>			
1	Byghelsæd m udlæg	193	0,24
2	Kløvergræs	230	0,21
3	Kløvergræs	230	0,21
4	Byghelsæd m udlæg	121	0,24
5	Majs	157	0,31
Gns		186	0,24
<i>Kvægbrug JB6</i>			
1	Byghelsæd m udlæg	175	0,13
2	Kløvergræs	233	0,11
3	Kløvergræs	233	0,11
4	Byghelsæd m udlæg	91	0,13
5	Majs	135	0,15
Gns		173	0,13

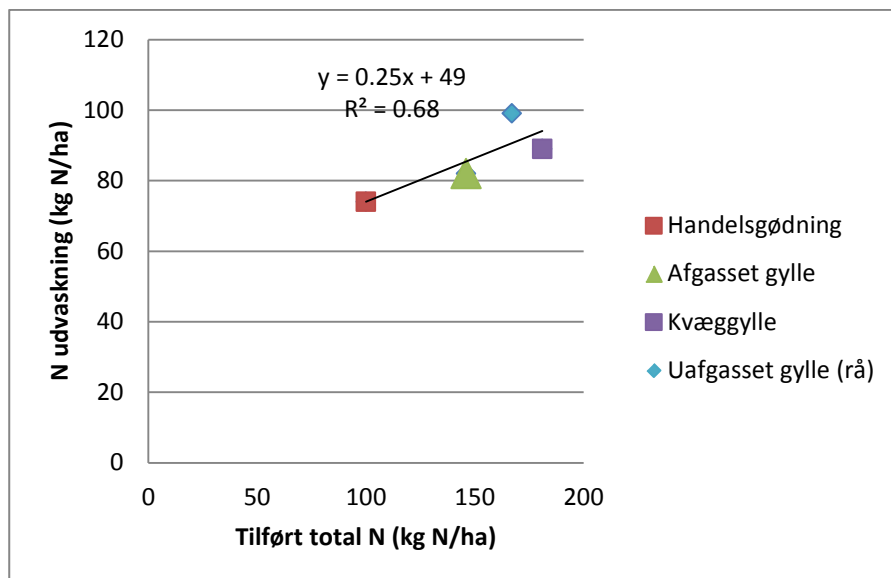
I Tabel 3 er opstillet typesædskifter for henholdsvis planteavl/svinebrug og kvægbrug, og marginaludvaskningen ved tilførsel af 10 kg N/ha udover norm er beregnet med N-LES4-modellen på henholdsvis sandjord (JB3) ved højt nedbørsniveau og lerjord (JB6) ved lavt nedbørsniveau. Det antages, at N i handelsgødning og den uorganiske N i organisk gødning har samme effekter på N-udvaskningen. Der er ikke indregnet effekter af ammoniaktab fra den organiske gødning i det følgende, idet det primære mål her er at vurdere effekten af bioforgasning på N-udvaskning, og vi har antaget at ammoniaktab er uændret før og efter bioforgasning (Hansen et al., 2008). I Tabel 3 ses, at den gennemsnitlige marginaludvaskning beregnet med N-LES4 udgør 0,12-0,13 kg N/kg N på lerjord og 0,22-0,24 kg N/kg N på sandjord. Den gennemsnitlige marginaludvaskning i sædskifter med planteavl/svin og kvæg er næsten ens, se Tabel 3, mens den gennemsnitlige N-norm er højere i kvægsædskiftet. I de følgende beregninger har vi valgt at bruge en fælles gennemsnitlig udvaskningsfaktor på 0,13 kg N/kg N på lerjord og 23 kg N/kg N på sandjord, gældende for både planteavl/svin og kvægbrug. Det betyder, at samme udvaskningsfaktor for afgasset gødning kan benyttes på alle brugstyper.

Udvaskning fra tilført organisk N i første år. N-LES4-modellen og andre modeller beregner en større N-udvaskning fra tilført uorganisk N end fra organisk N i første år. Meget tyder imidlertid på, at disse resultater skyldes en upræcis opbygning af modellerne i forhold til beregning af effekten af organisk gødning på N-udvaskningen. Som det fremgår af gennemgangen i Appendiks A, viser en række udvaskningsforsøg nemlig, at det med god tilnærmelse kan antages, at udvaskningen i første år efter tilførslen er ens for uorganisk og organisk bundet N, idet udvaskningen i sammenlignende forsøg typisk var proportional med tilført total N. Det kan forklares ved, at det uorganiske N både er mere tilgængeligt for udvaskning og mere tilgængeligt for planterne. Størstedelen af det uorganiske optages derfor af planterne i vækstsæsonen første år og føres bort med afgrøden, mens en mindre andel udvaskes. Størstedelen af det organiske N forbliver organisk bundet i første år, hvorved det hverken optages af planterne eller udvaskes. En del af det organiske N mineraliseres, og en betydelig del af mineraliseringen sker i løbet af efterår og vinter, hvor kvælstoffet ikke kan udnyttes af en afgrøde, og derfor udvaskes en større andel af det mineraliserede N. Der er altså tale om modsatrettede effekter, der samlet set betyder, at udvaskningen er omtrent ens efter første år, uanset om kvælstoffet er tilført som uorganisk eller organisk bundet N.

Sørensen & Birkmose (2002) fandt en ekstra udvaskning i forhold til handelsgødet jord i året efter tilførsel af enten afgasset eller ubehandlet gylle svarende til 18-25 % af det tilførte organiske N, når der var tilført samme mængde uorganisk N med handelsgødning og husdyrgødning (Figur 1). Udvaskningen fra organisk N var således i dette forsøg på samme niveau som for uorganisk N tilført sandjord beregnet med N-LES4-modellen, se Tabel 3.

Øgede luftformige N-tab i form af øget ammoniakfordampning og denitrifikation efter tilførsel af husdyrgødning medfører også reduceret udvaskningsrisiko. Sådanne tab har også fundet sted i de refererede forsøg i Appendiks A, men har ikke altså ikke medført en lavere udvaskningsrate fra total N i husdyrgødning sammenlignet med handelsgødning.

Vi antager derfor i de følgende beregninger, at udvaskningen er ens fra organisk og uorganisk N i første år, eller med andre ord er udvaskningen i 1. år proportional med tilført total N.



Figur 1. Relation mellem N-udvaskning og tilført total N målt i lysimeterforsøg med vårbyg efter tilførsel af 100 kg uorganisk N/ha med både handelsgødning og husdyrgødning, JB4 (data fra Sørensen & Birkmose, 2002).

Udvaskning fra tilført organisk N på langt sigt. Størstedelen af det organisk bundne N efterlades i jorden efter 1. år, og vil give anledning til udvaskning efterhånden som det frigives over en lang årrække. Den langsigtede udvaskning kan beregnes ud fra et forventet mineraliseringsforløb, samt ud fra den forventede udvaskningsfaktor for mineraliseret N i jorden. Der er stor usikkerhed forbundet med denne udvaskningsfaktor, idet det eksperimentelle grundlag er begrænset, og det er nødvendigt at basere sig primært på modelberegninger. Petersen et al (2006) har beregnet udvaskningsfaktorer for mineraliseret N med FASSET modellen i kornrige sædskifter. De fandt, at andelen af efterafgrøder har stor betydning for udvaskningsfaktoren, se Tabel 4, og det er usikkert, hvor mange efterafgrøder der bliver anvendt i fremtiden. I Tabel 4 er beregnet andelen af organisk N, der er udvasket efter 300 år, svarende til at stort set al det organiske N er mineraliseret. Med 15 % efterafgrøder i sædskiftet fandtes en udvaskningsfaktor på 48 % på JB3 og 27 % på JB6, hvilket er tæt på det dobbelte af udvaskningen fra uorganisk N tilført korn beregnet med N-LES4 (22 % på JB3 og 12 % på JB6). Dette stemmer godt overens med forsøg med ¹⁵N-mærket gødning, hvor planteoptagelse og udvaskning af mærket N er målt i årene efter tilførslen i Danmark og i Nordfrankrig. I disse forsøg er der fundet en udvaskning af mærket N (der stammer fra mærket organisk N) på ca. samme niveau, som er optaget i afgrøder af vårbyg og vinterhvede (Thomsen et al., 1997; Sebilo et al., 2013). Det viser, at 25-50 % af det mineraliserede mærkede N er blevet udvasket. I de følgende beregninger er det derfor antaget, at udvaskningen fra mineraliseret organisk N (fra gødning) er dobbelt så høj som udvaskningen fra uorganisk N tilført om foråret.

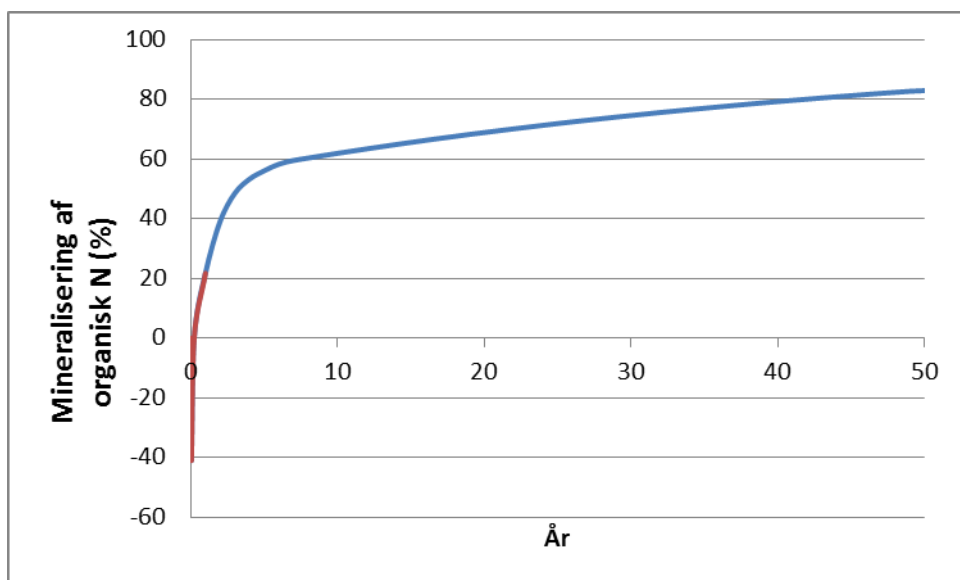
Den beregnede effekt af bioforgasning på udvaskning er følsom overfor denne udvaskningsfaktor for mineraliseret N. En følsomhedsanalyse viser f.eks., at 10 % ændring af denne faktor tilsvarende betyder 10 % ændring i effekten af bioforgasning på N-udvaskning.

Tabel 4. Procentdel af organisk N i jordpuljen der udvaskes over en 300-årig horisont i typisk sædskifte på svine- og planteavlsbedrifter med varierende andel af efterafgrøder beregnet med FASSET-modellen (Petersen et al., 2006; Vinther et al., 2013).

Jordtype/klima	Andel af efterafgrøder %	N-udvaskning 0-300 år %	N-udvaskning 0-300 år gennemsnit for jordtype %
JB3 Jydevad klima (vådt)	10	57,1	59
	15	42,3	48
	20	27,4	37
JB6 Jydevad klima (vådt)	10	45,6	43
	15	26,6	27
	20	7,7	11
JB3 Roskilde klima (tørt)	10	61,3	
	15	53,5	
	20	45,7	
JB6 Roskilde klima (tørt)	10	40,3	
	15	27,6	
	20	14,8	

Det tidsmæssige forløb (0-50 år) for N-udvaskning fra organisk N beregnes med en simpel mineraliseringsmodel ("ModelNeftervirkning"), der er beskrevet af Petersen & Sørensen (2008), og siden modificeret. I denne model sker der en gennemsnitlig mineralisering fra det organiske N i gødning på 22 % i det første år efter tilførslen, og det bidrager til udvaskningen i 1. år. Herefter sker mineraliseringen gradvis langsommere med en akkumuleret mineralisering på 62 % efter 10 år og 83 % efter 50 år (Figur 2). Modellen er baseret på observationer af N-optagelse og udvaskning målt i en række flerårige forsøg med enten mærket eller umærket N tilført i gødning. Mineraliseringen er her antaget at være ens for organisk N i alle gødningstyper, selvom der i praksis vil være forskel på gødningstyper, ligesom det må forventes at det organiske N, der er tilbage efter en bioforgasning, er langsommere omsætteligt end i ubehandlet gødning. Den ekstra udvaskning, der sker fra det organiske N, er beregnet med udgangspunkt i de 78 %, der forventes at være tilbage i jorden efter det første år.

De første uger efter tilførsel af husdyrgødning sker der en immobilisering af N (negativ netto-mineralisering) på grund af høj mikrobiel aktivitet i jorden og efter 2-3 måneder er netto-mineraliseringen tæt på 0 (Petersen & Sørensen, 2008). Derefter er netto N-mineraliseringen normalt positiv. Det betyder, at brutto-mineraliseringen af tilført organisk N er omkring 50 % i første år, men nettofrigivelsen af N kun 20-25 %. Se Figur 2.



Figur 2. Tidsforløbet for nettomineralisering af N efter tilførsel af organisk N i husdyrgødning beregnet med simpel model (Petersen & Sørensen, 2008). Kurven angiver et gennemsnit for svine- og kvæggødning, og den røde del af kurve viser mineraliseringsforløbet i første år efter tilførsel.

2.3. Forhold mellem organisk og uorganisk N i gødning

I Tabel 5 er angivet fordeling imellem organisk og uorganisk N i gødningstyper, der er anvendt i beregninger i denne rapport. Andelen af uorganisk N kan variere betydeligt både i ubehandlet og afgasset gødning. Andelen i ubehandlet gødning er baseret på data fra Hansen et al (2008), og er baseret på et relativt stort antal prøver af gødning anvendt i Landsforsøg over en årrække. Andelen i afgasset gødning er bl.a. baseret på data fra Sørensen et al. (2012). Tilsvarende værdier for afgasset kvæggylle er fundet af Clemens et al. (2006), der fandt 66-68 % ammonium N i afgasset kvæggylle. Ved afgang af majsensilage er i en tysk undersøgelse fundet en uorganisk N-andel på 59 % (Svoboda et al., 2013).

Tabel 5. Andel af ammonium N i forhold til total N i gødning før og efter bioforgasning anvendt i denne rapport, samt udnyttelseskrav for udvalgte typer biomasse.

Gødningstype	Ammonium N/total N			Udnyttelseskrav
	Ubehandlet*	Afgasset*	Afgasset (Jensen, 2015)**	%
Svinegylle	0,79	0,90	0,85	75
Kvæggylle	0,58	0,68	0,70	70
Kvægdybstrøelse	0,20	0,50	0,39	45
Majsensilage	0,05	0,60	0,40	40
Mave-tarm indhold	0,05	0,60	-	40
Fiskeensilage/fiskeaffald	0,70	0,90	0,43	40

* Vurderinger anvendt i model beregninger i denne rapport

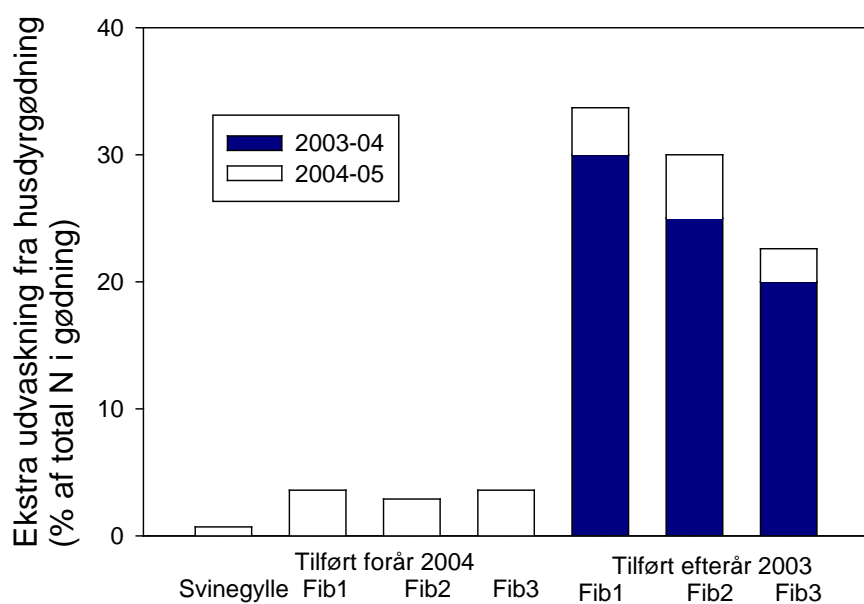
** Modelberegninger fra Jensen (2015) (ikke anvendt her)

En række andre udenlandske undersøgelser har fundet en lavere andel af uorganisk N i afgasset gødning (Möller & Müller, 2012), men også typisk en lavere andel af uorganisk N i ubehandlet gødning i forhold til danske gødningsdata. Den angivne andel af uorganisk N i mave-tarm indhold og fiskeaffald er egne skøn.

2.4. Øvrige faktorer af betydning for N-udvaskning i forbindelse med bioforgasning

Ændret ammoniakfordampning efter bioforgasning vil have betydning for N-udvaskningen. Øget pH i biomassen efter forgasning medfører øget risiko for ammoniakfordampning, mens et reduceret indhold af tørstof efter forgasning medfører bedre infiltration i jorden og dermed mindre ammoniakfordampning. Den samlede effekt af bioforgasning på ammoniaktab er meget afhængig af udbringningsmetode og vejrforhold under og efter udbringning, og her antages ammoniaktab at være uændret, i overensstemmelse med vurderinger i Hansen et al. (2008).

I forbindelse med bioforgasning på større anlæg anvendes i nogle tilfælde gylleseparatoring efter afgasning af gødning. Det giver med de nuværende regler mulighed for udbringning af afgasset fiberfraktion om efteråret, hvilket medfører øget N-udvaskning allerede det første år (Sørensen & Rubæk, 2012). I Figur 4 er vist en sammenligning af N-udvaskning målt efter tilførsel af fiberfraktioner til vinterhvede forår og efterår, hvor der blev målt en betydelig højere N-udvaskning ved tilførsel af fiberfraktion om efteråret umiddelbart før såning af vinterhvede. Effekten heraf er ikke indregnet de beregnede scenarier med afgasning, idet anvendelse af separering ikke udnyttes på alle biogasanlæg, og vi har heller ikke viden om, hvor meget fiberfraktion der i givet fald udbringes om efteråret.



Figur 4. Ekstra N-udvaskning målt efter tilførsel af fiberfraktioner (Fib1-Fib3) i september umiddelbart før såning af vinterhvede eller tilført på afgrøden om foråret i forhold til tilførsel af handelsgødning om foråret. Gennemsnit af 2 jordtyper (JB4 og JB7) målt i lysimeterforsøg (data fra Sørensen & Rubæk, 2012).

3. N-udvaskning beregnet i forskellige scenarier med og uden bioforgasning

I det følgende er beregnet og sammenlignet N-udvaskning i forskellige scenarier for gødningstilførsel med og uden bioforgasning. Beregningerne er gennemført med udvaskningsfaktorer for henholdsvis organisk N og uorganisk N som beskrevet i forrige afsnit.

I alle scenarier er anvendt officielle normer for N-tilførsel (2014/15), og der er tilført 100 kg N med husdyrgødning i alle scenarier med organisk gødning, svarende til 1 DE/ha og tilførslen af handelsgødning er reguleret på basis af de angivne udnyttelseskrav for den organiske gødning. Den ekstra N-udvaskning ved anvendelse af organisk gødning i forhold til handelsgødning kan forventes at være proportional med tilførslen af DE.

I scenarier med kombination af gylle og anden biomasse er valgt et forhold mellem gylle og anden biomasse på 0,75:0,25 baseret på tørstof, idet lovgivningen tillader tilsætning af affald op til dette forhold, uden at gødningen skal tilføres efter affaldsbekendtgørelsen. Betingelsen for at opnå anlægstilskud til biogasanlæg er dog, at der må tilsættes op til 25 % med energiafgrøder baseret på våd vægt, og i det følgende findes også beregninger, hvor der indgår varierende andel af energiafgrøde baseret på våd vægt. Dybstrøelse og mave-tarm affald regnes som husdyrgødning, og tilførslen er derfor ikke begrænset, men for at lette sammenligning er der i scenarierne også valgt et forhold på 0,75:0,25 baseret på tørstof.

Der er også valgt et scenarie med anvendelse af 25 % tørstof i fiskeaffald sammen med enten kvæg- eller svinegylle, velvidende at en sådan kombination ikke vil forekomme i praksis. Dette er valgt for at teste effekterne af et ekstremt scenarie, hvor der tilføres affald med et meget højt indhold af let omsætteligt kvælstof. Ud-vaskningen er beregnet både efter 1. år, efter 10 år og efter 50 år med den samme tilførsel af gødning. Ved anvendelse af svinegylle som dominerende organisk gødning er anvendt et planteavlssædskifte, og ved kvæggylle som dominerende gødning er tilført til et kvægbrugssædskifte (sædskifter vist i Tabel 3). Da den gennemsnitlige marginaludvaskning er næsten ens for planteavls- og kvægsædskifter, se Tabel 3, er der i de følgende beregninger anvendt samme gennemsnitlige marginaludvaskning for alle typer brug. I Tabel 6 er vist den beregnede N-udvaskning med de nuværende udnyttelseskrav for gødning.

Effekten af bioforgasning på ændringer i N-udvaskningen med forskellige udvalgte kombinationer af gødning og nuværende udnyttelseskrav er vist i Tabel 7. Effekten er beregnet per dyreenhed, og effekten vil være proportional med antal DE, så den aktuelle effekt per hektar kan beregnes ved at gange med antallet af tilførte DE/ha. Det ses, at der med den anvendte model ikke er nogen effekt af bioforgasning i første år, mens der set over et 10-årigt perspektiv sker en reduktion i N-udvaskningen på 1,0-2,7 kg N/DE, og set over et 50-årigt perspektiv en reduktion i N-udvaskningen på 1,5-4,2 kg N/DE. Effekten er dobbelt så stor på sandjord som på lerjord.

Tabel 6. N-udvaskning beregnet i scenarier med og uden bioforgasning af forskellige gødningstyper **med nuværende udnyttelseskrav**, beregnet på JB6 jord med lav nedbør og JB3 jord med høj nedbør. Der er tilført 100 kg total N /ha (1 DE) med husdyrgødning suppleret med handelsgødning til norm i 2014/15. Der er tilført samme mængde total N med og uden afgang. Udvasningen er angivet som kg N/ha/år efter 1, 10 og 50 år med tilførsel af samme gødningsmængde.

Gødning	Udnyttelseskrav %	kg total N/ha JB6	Lerjord (JB6), lav nedbør						kg total N/ha JB3	Sandjord (JB3), høj nedbør					
			Uden afgang			Med afgang				Uden afgang			Med afgang		
			1 år	10 år	50 år	1 år	10 år	50 år		1 år	10 år	50 år	1 år	10 år	50 år
100% handelsgødning Sædskifte planteavl/svin	100	150	42,6	42,6	42,6	Ikke relevant			152	71,7	71,7	71,7	Ikke relevant		
100% handelsgødning Sædskifte kvæg	100	173	42,4	42,4	42,4	Ikke relevant			186	77,2	77,2	77,2	Ikke relevant		
100% svinegylle	75	175	45,7	47,7	48,8	45,7	46,6	47,1	177	77,5	81,4	83,4	77,5	79,3	80,3
100% kvæggylle	70	203	46,1	50,2	52,4	46,1	49,2	50,9	216	84,2	92,0	96,1	84,2	90,1	93,3
25% dybstrøelse 75% kvæggylle	67	206	46,4	50,9	53,2	46,4	49,7	51,5	219	84,8	93,3	97,8	84,8	91,1	94,4
25% fiskeaffald 75% kvæggylle	57	216	47,7	51,3	53,2	47,7	49,9	51,0	229	87,2	94,0	97,6	87,2	91,4	93,6
25% fiskeaffald 75% svinegylle	65	185	46,8	49,1	50,3	46,8	47,8	48,3	186	79,7	84,0	86,3	79,7	81,5	82,5
25% slagteriaffald 75% svinegylle	72	178	46,0	48,7	50,1	46,0	47,3	47,9	180	78,2	83,3	85,9	78,2	80,5	81,7
25% majsens. 75% svinegylle	74	176	Ikke relevant			45,8	46,9	47,5	178	Ikke relevant			77,8	79,9	81,0

*For handelsgødning og uorganisk N i organisk gødning er indregnet fem års eftervirkning af gødningen, som det sker i N-LES4-modellen.

Tabel 7. Ændret N-udvaskning som følge af bioforgasning beregnet som akkumuleret effekt efter 1, 10 og 50 års tilførsel af samme gødningstype og angivet som kg N/DE. Dermed bliver det også effekten per år, hvis der tilføres afgasset gødning hvert år i den angivne tidsperiode forud. Effekterne er beregnet på basis af data i Tabel 6.

Gødning	Udnyttelseskrav %	Lerjord JB6			Sandjord JB3		
		1 år	10 år	50 år	1 år	10 år	50 år
100 % svinegylle	75	0,0	-1,1	-1,6	0,0	-2,0	-3,1
100 % kvæggylle	70	0,0	-1,0	-1,5	0,0	-1,9	-2,8
25 % dybstrøelse 75 % kvæggylle	67	0,0	-1,2	-1,8	0,0	-2,2	-3,4
25 % fiskeaffald 75 % kvæggylle	57	0,0	-1,4	-2,1	0,0	-2,6	-4,0
25 % fiskeaffald 75 % svinegylle	65	0,0	-1,3	-2,0	0,0	-2,5	-3,8
25 % slagteriaffald 75 % svinegylle	72	0,0	-1,4	-2,2	0,0	-2,7	-4,2

Tabel 8 viser beregnet udvaskning fra samme scenarier, men med et øget udnyttelseskrav for alle biomasser på 15 %. Der er anvendt samme udnyttelseskrav med og uden bioforgasning.

Tabel 8. N-udvaskning beregnet i scenarier med og uden bioforgasning af forskellige gødningstyper med **øget udnyttelseskrav svarende til 15 %** for alle biomasser (inklusive uden afgang), beregnet på JB6 jord med lav nedbør og JB3 jord med høj nedbør. I alle scenarier er tilført 100 kg total N /ha med husdyrgødning suppleret med handelsgødning til norm i 2014/15. Tilført total N er den samme med og uden afgang. Udvasning er angivet som kg N/ha/år.

Gødning	Udnyttelseskrav %	kg total N/ha JB6	Lerjord (JB6), lav nedbør						kg total N/ha JB3	Sandjord (JB3), høj nedbør					
			Uden afgang			Med afgang				Uden afgang			Med afgang		
			1 år	10 år	50 år	1 år	10 år	50 år		1 år	10 år	50 år	1 år	10 år	50 år
100 % handelsgødning Sædskifte planteavl/svin	100	150	42,6	42,6	42,6	Ikke relevant			152	71,7	71,7	71,7	Ikke relevant		
100 % handels-gødning Sædskifte kvæg	100	173	42,4	42,4	42,4	Ikke relevant			186	77,2	77,2	77,2	Ikke relevant		
100 % svinegylle	90	160	43,8	45,9	46,9	43,8	44,8	45,3	162	74,0	77,9	79,9	74,0	75,8	76,8
100 % kvæggylle	85	188	44,2	48,3	50,5	44,2	47,4	49,0	201	80,7	88,5	92,6	80,7	86,6	89,8
25 % dybstrøelse 75 % kvæggylle	82	191	44,6	49,0	51,4	44,6	47,9	49,6	204	81,3	89,8	94,3	81,3	87,6	90,9
25 % fiskeaffald 75 % kvæggylle	72	201	45,8	49,4	51,3	45,8	48,0	49,2	214	83,7	90,5	94,1	83,7	87,9	90,1
25 % fiskeaffald 75 % svinegylle	80	170	45,0	47,3	48,5	45,0	46,0	46,5	171	76,2	80,5	82,8	76,2	78,0	79,0
25 % slagteriaffald 75 % svinegylle	87	163	44,2	46,9	48,3	44,2	45,4	46,1	165	74,7	79,8	82,5	74,7	77,0	78,3
25 % majsens. 75 % svinegylle	86	164	Ikke relevant			44,3	45,4	46,0	165	Ikke relevant			74,9	76,9	78,0

*For handelsgødning og uorganisk N i organisk gødning er indregnet fem års eftervirkning af gødningen, som det sker i N-LES4-modellen.

Effekten af bioforgasning kombineret med et øget udnyttelseskrav på +15 % for alle gødninger/biomasser er vist i Tabel 9. Tabellen viser effekten af afgang og hævet udnyttelseskrav set i forhold til en situation uden afgang og med uændrede udnyttelseskrav i forhold til i dag. Tilførslen af total-N er derfor højere uden afgang end med afgang. Den konkrete N-tilførsel fremgår af Tabel 8. Her opnås en reduktion i N-udvaskningen på 1,8-3,5 kg N/DE i første år og en reduktion på 3,3-7,7 kg N/DE set over 50 år.

Tabel 9. Ændret N-udvaskning som følge af bioforgasning og ændret udnyttelseskrav (+15 % for alle bioforgassede gødninger/biomasser) beregnet som akkumuleret effekt efter 1, 10 og 50 års tilførsel for forskellige gødningstyper og angivet som kg N/DE. Effekterne er beregnet på basis af data i Tabel 8.

Gødning	Udnyttelseskrav %	Lerjord JB6			Sandjord JB3		
		1 år	10 år	50 år	1 år	10 år	50 år
100% svinegylle	90	-1,8	-2,9	-3,5	-3,5	-5,5	-6,6
100% kvæggylle	85	-1,8	-2,8	-3,3	-3,5	-5,3	-6,3
25% dybstrøelse 75% kvæggylle	82	-1,8	-3,0	-3,6	-3,5	-5,7	-6,9
25% fiskeaffald 75% kvæggylle	72	-1,8	-3,2	-4,0	-3,5	-6,1	-7,5
25% fiskeaffald 75% svinegylle	80	-1,8	-3,2	-3,8	-3,5	-6,0	-7,3
25% slagteriaffald 75% svinegylle	87	-1,8	-3,3	-4,0	-3,5	-6,2	-7,7

Tabel 10 viser beregnet udvaskning fra samme scenarier, men med et udnyttelseskrav på 80 % for alle biomasser, inklusiv den ikke afgassede gødning. Der er igen anvendt samme udnyttelseskrav med og uden bioforgasning.

Tabel 10. N-udvaskning beregnet i scenarier med og uden bioforgasning af forskellige gødningstyper **med udnyttelseskrav på 80 %** for alle gødninger (inklusive uden afgang), beregnet på JB6 jord med lav nedbør og JB3 jord med høj nedbør. Der er tilført 100 kg total N /ha (1 DE) med husdyrgødning suppleret med handelsgødning til norm i 2014/15. Total N er den samme med og uden afgang. Udvasning er angivet som kg N/ha/år.

Gødning	Udnyttelseskrav %	kg total N/ha JB6	Lerjord (JB6), lav nedbør						kg total N/ha JB3	Sandjord (JB3), høj nedbør					
			Uden afgang			Med afgang				Uden afgang			Med afgang		
			1 år*	10 år	50 år	1 år*	10 år	50 år		1 år*	10 år	50 år	1 år*	10 år	50 år
100% handelsgødning Sædskifte planteavl/svin	100	150	42,6	42,6	42,6	Ikke relevant			152	71,7	71,7	71,7	Ikke relevant		
100% handelsgødning Sædskifte kvæg	100	173	42,4	42,4	42,4	Ikke relevant			186	77,2	77,2	77,2	Ikke relevant		
100% svinegylle	80	170	45,0	47,1	48,2	45,0	46,0	46,5	172	76,3	80,2	82,3	76,3	78,2	79,1
100% kvæggylle	80	193	44,9	49,0	51,1	44,9	48,0	49,6	206	81,9	89,7	93,8	81,9	87,8	90,9
25% dybstrøelse 75% kvæggylle	80	193	44,9	49,3	51,7	44,9	48,2	49,9	206	81,9	90,4	94,9	81,9	88,2	91,5
25% fiskeaffald 75% kvæggylle	80	193	44,9	48,5	50,4	44,9	47,1	48,2	206	81,9	88,7	92,3	81,9	86,1	88,3
25% fiskeaffald 75% svinegylle	80	170	45,0	47,3	48,5	45,0	46,0	46,5	172	76,3	80,7	82,9	76,3	78,2	79,1
25% slagteriaffald 75% svinegylle	80	170	45,0	47,7	49,1	45,0	46,3	46,9	172	76,3	81,4	84,1	76,3	78,6	79,9
25% majsens. 75% svinegylle	80	170	Ikke relevant			45,0	46,1	46,7	172	Ikke relevant			76,3	78,4	79,5

* For handelsgødning og uorganisk N i organisk gødning er indregnet 5 års eftervirkning af gødningen, som det sker i N-LES4-modellen.

Effekten på N-udvaskning af bioforgasning kombineret med et ændret udnyttelseskrav til 80 % for alle biomasser er beregnet til 0,6-3,2 kg N/DE i 1. år og 2,2-6,9 kg N/DE set over 50 år, se Tabel 11. Tabellen viser effekten af afgang og hævet udnyttelseskrav, set i forhold til en situation uden afgang og med uændrede udnyttelseskrav i forhold til i dag. Tilførslen af total-N er derfor højere uden afgang end med afgang. Den konkrete N-tilførsel fremgår af Tabel 10.

Tabel 11. Ændret N-udvaskning som følge af bioforgasning og ændret udnyttelseskrav (80 % for alle bioforgassede gødninger) beregnet som akkumuleret effekt efter 1, 10 og 50 års tilførsel for forskellige gødningstyper og angivet som kg N/DE. Effekterne er beregnet på basis af data i Tabel 10, og referencen er ubehandlet kvæg- eller svinegylle.

Gødning	Udnyttelseskrav %	Lerjord JB6			Sandjord JB3		
		1 år	10 år	50 år	1 år	10 år	50 år
100 % svinegylle	80	-0,6	-1,7	-2,3	-1,2	-3,2	-4,3
100 % kvæggylle	80	-1,2	-2,2	-2,7	-2,3	-4,2	-5,2
25 % dybstrøelse 75 % kvæggylle	80	-1,5	-2,7	-3,3	-2,9	-5,2	-6,3
25 % fiskeaffald 75 % kvæggylle	80	-2,8	-4,2	-4,9	-5,3	-7,9	-9,3
25 % fiskeaffald 75 % svinegylle	80	-1,8	-3,1	-3,8	-3,4	-5,9	-7,2
25 % slagteriaffald 75 % svinegylle	80	-1,0	-2,4	-3,2	-1,9	-4,6	-6,1

Ovennævnte beregnede effekter af bioforgasning adskiller sig fra tidligere vurderinger i bl.a. Schou et al. (2007), som estimerede en øget N-udvaskning ved bioforgasning og uændrede udnyttelseskrav, selv over en 50-årig horisont. En sådan modelberegnet effekt er imidlertid ikke i overensstemmelse med de forsøgsbaserede effekter af husdyrgødning på udvaskning, som fremgår af Appendiks A, og derfor vurderes beregningerne i nærværende rapport at være i bedre overensstemmelse med den faktiske N-udvaskning.

3.1. Effekter af anvendelse af energiafgrøde og ”nyt” affald i biogasproduktionen

Med øget udbredelse af biogasanlæg må der forventes at blive mangel på energirigt affald, og anvendelse af energiafgrøder må forventes at blive mere udbredt i fremtiden. Som energiafgrøder kan f.eks. anvendes majsensilage, halm, græs eller roer. I Tyskland er der en udbredt anvendelse af majsensilage, og dette forventes indtil videre også at være den mest økonomisk fordelagtige energiafgrøde i Danmark. I reglerne for anlægstilskud til biogasanlæg er sat en grænse for tilførsel af energiafgrøde på maksimum 25 % af vådvægt, og denne grænse reduceres til 12 % fra 2018, som tidligere nævnt. I tabel 12 er gennemført beregninger af N-udvaskning ved varierende forhold mellem gylle og majsensilage. I beregningerne er indregnet et udnyttelseskrav på 40 % for majsensilage ved beregning af det samlede udnyttelseskrav, men N i majsensilagen er ikke indregnet i DE. Det betyder, at der i alle scenarier er regnet med en tilførsel af 100 kg N/ha stammende fra husdyrgødning, mens den samlede tilførsel af N med gødning stiger ved tilførsel af energiafgrøde, se Tabel 12. Denne fremgangsmåde begrundes med, at man ikke vil tilføre ubehandlet majsensilage til landbrugsjord, hvis det ikke var for bioforgasningen, og bioforgasningen dermed medfører en større tilførsel af N i organisk gødning på jorden. Tilsvarende vil gøre sig gældende, hvis man tager ”nyt” affald ind til bioforgasning. ”Nyt” affald er her defineret som affald, der ikke ville blive tilført til landbrugsjord, hvis ikke det blev afgasset i biogasanlæg.

Tabel 12. N-udvaskning beregnet i scenarier med forskellig andel af majsensilage svarende til 12 % og 25 % af våd vægt **med nuværende udnyttelseskrav** (40 % for majsensilage), beregnet på JB6 jord med lav nedbør og JB3 jord med høj nedbør. Der er tilført 100 kg total N /ha (1 DE) med afgasset gødning suppleret med handelsgødning til norm i 2014/15. Udvaskningen er angivet som kg N/ha/år efter 1, 10 og 50 år med tilførsel af samme gødningsmængde. N i majsensilage er ikke indregnet i DE.

Gødning	Udnyttelseskrav %	kg total N/ha JB6	Lerjord (JB6), lav nedbør						kg total N/ha JB3	Sandjord (JB3), høj nedbør					
			Uden afgasning			Med afgasning				Uden afgasning			Med afgasning		
			1 år	10 år	50 år	1 år	10 år	50 år		1 år	10 år	50 år	1 år	10 år	50 år
100 % svinegylle	75	175	45,7	47,7	48,8	45,7	46,6	47,1	177	77,5	81,4	83,4	77,5	79,3	80,3
100 % kvæggylle	70	203	46,1	50,2	52,4	46,1	49,2	50,9	216	84,2	92,0	96,1	84,2	90,1	93,3
25 % majsensilage 75 % kvæggylle (våd)	62	227	Ikke relevant			48,9	53,6	56,0	239	Ikke relevant			89,6	98,4	103,0
12 % majsensilage 88 % kvæggylle (våd)	66	213	Ikke relevant			47,2	51,0	53,0	226	Ikke relevant			86,4	93,5	97,3
25 % majsensilage 75 % svinegylle (våd)	66	195	Ikke relevant			48,1	50,4	51,6	197	Ikke relevant			82,1	86,4	88,7
12 % majsensilage 88 % svinegylle (våd)	71	183	Ikke relevant			46,7	48,2	49,0	185	Ikke relevant			79,4	82,2	83,7
25 % majsensilage. 75 % svinegylle (TS)	74	178	Ikke relevant			46,0	47,1	47,7	179	Ikke relevant			78,1	80,2	81,4

Det ses i Tabel 13, at anvendelse af 25 % majs i biogasanlæg medfører en stigning i N-udvaskningen på 3,6-6,9 kg N/DE over en 50 årig horisont i forhold til ubehandlet kvæggylle og en stigning på 2,7-5,3 kg N/DE i forhold til ubehandlet svinegylle over en 50 årig horisont. Allerede første år beregnes en øget N-udvaskning på 2,4-5,4 kg N/DE ved anvendelse af 25 % majsensilage. Ved anvendelse af 12 % majsensilage i biogasproduktion er den langsigtede effekt tæt på uændret i forhold til ubehandlet gylle, dog med en svagt øget N-udvaskning på 0,2-1,2 kg N/DE, se Tabel 13. I disse beregninger er ikke indregnet, at en øget dyrkning af majs også kan have indflydelse på N-udvaskningen, idet majs medfører en relativ høj N-udvaskning ifølge NLES-4-modellen. Se Tabel 3.

Beregninger i modellen viser nul effekt på den 50-årige udvaskning, i forhold til ubehandlet gødning, når N i energiafgrøde eller i ”nyt” affald udgør 10 % af det samlede kvælstof indhold i den afgassede biomasse og

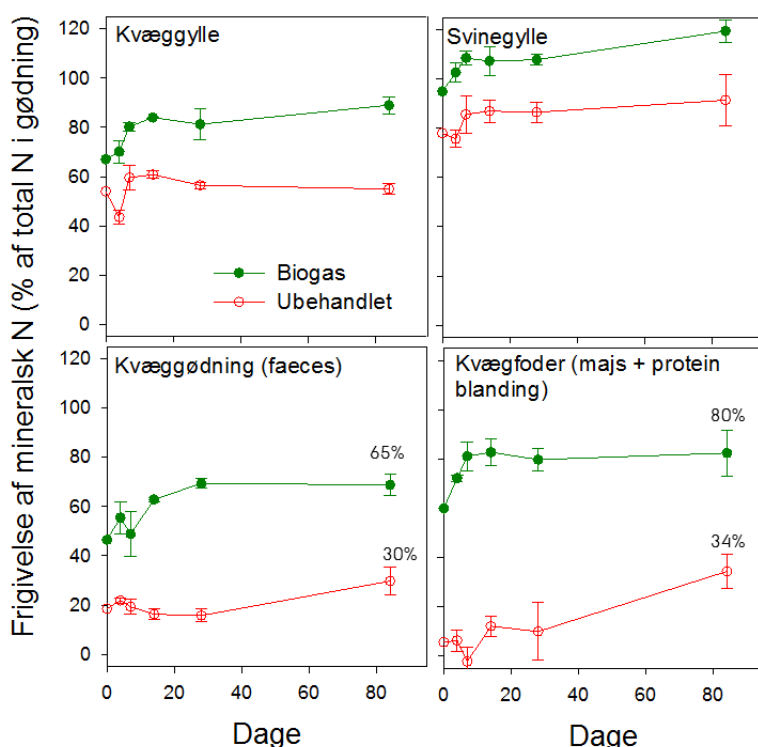
udnyttelseskravet er 40 % for energiafgrøde/"nyt" affald. Hvis N i energiafgrøde/"nyt" affald udgør mindre end 10 %, eller udnyttelseskravet er højere end 40 %, vil der samlet set være en reduktion i N-udvaskning ved bioforgasningen (data ikke vist).

Tabel 13. Ændret N-udvaskning som følge af bioforgasning og tilsætning af 12 eller 25 % majsensilage som energiafgrøde med nuværende udnyttelseskrav beregnet som akkumuleret effekt efter 1, 10 og 50 års tilførsel for forskellige gødningstyper og angivet som kg N/DE. Effekterne er beregnet på basis af data i Tabel 12, og referencen er ubehandlet kvæg- eller svinegylle.

Gødning	Udnyttel- seskrav %	N i orga- nisk gød- ning kg N/DE	Lerjord JB6			Sandjord JB3		
			1 år	10 år	50 år	1 år	10 år	50 år
100 % svinegylle	75	100	0,0	-1,1	-1,6	0,0	-2,0	-3,1
100 % kvæggylle	70	100	0,0	-1,0	-1,5	0,0	-1,9	-2,8
25 % majsensilage 75 % kvæggylle (våd)	62	138,6	2,8	3,4	3,6	5,4	6,4	6,9
12 % majsensilage 88 % kvæggylle (våd)	66	115,8	1,2	0,8	0,6	2,2	1,5	1,2
25 % majsensilage 75 % svinegylle (våd)	66	133,2	2,4	2,7	2,8	4,6	5,1	5,3
12 % majsensilage 88 % svinegylle (våd)	71	113,6	1,0	0,5	0,2	1,9	0,9	0,3

4. Effekter af bioforgasning på gødningsvirkning og udbytter

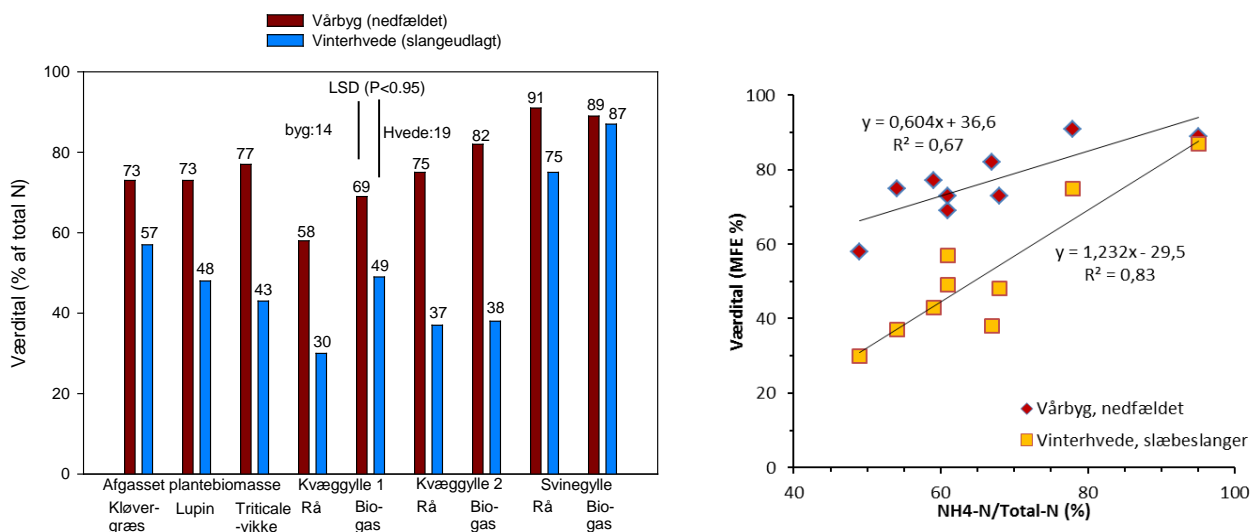
Efter bioforgasning af organisk gødning stiger andelen af uorganisk N i gødningen, der er umiddelbart tilgængeligt for planter. Figur 5 viser udviklingen i uorganisk N i jord efter tilførsel af afgasset og ikke afgasset gødning. Tre måneder efter tilførslen er forskellen i N-frigivelse mellem afgasset og ubehandlet gødning omtrent den samme som forskellen i uorganisk N-andel i gødningen ved tilførslen. Som hovedregel svarer førsteårs gødningsvirkningen af de fleste organiske gødninger til ammonium indholdet ved tilførslen (Petersen og Sørensen, 2008). Selvom et vist ammoniaktab efter tilførslen er uundgåeligt modsvares dette af, at der også sker en mineralisering af organisk N efter tilførslen. I det følgende er antaget at førsteårsvirkningen af N i gødning svarer til ammonium indholdet i gødningen, og en tilsvarende antagelse er brugt af Jensen (2015).



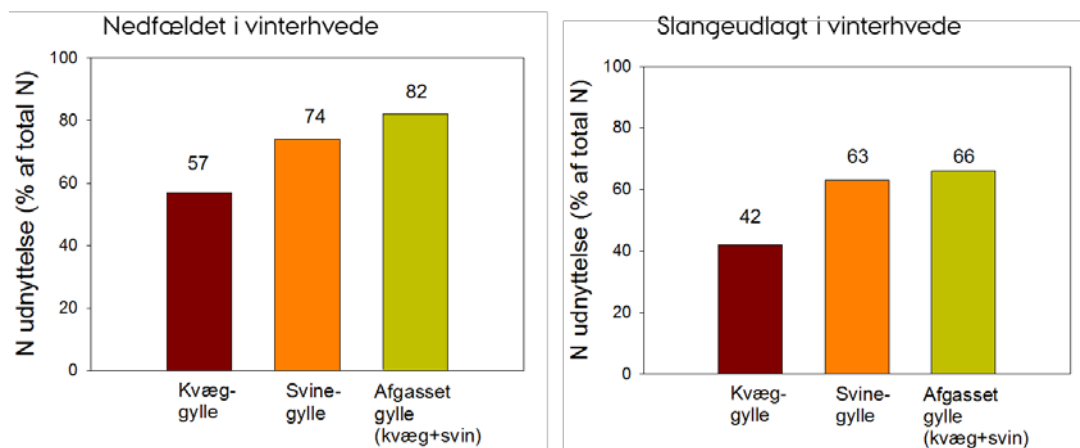
Figur 5. Nettofrigivelse af uorganisk N fra forskellige typer af gødning før og efter bioforgasning. Laboratorieforsøg med gødning tilført til finsandet jord og inkuberet ved 20° C og optimal jord-fugtighed. Gødning er afgasset i pilot-reaktorer i lille skala (Sørensen et al., 2012).

Figur 6 viser 1. års gødningsvirkning målt efter tilførsel af bioforgasset plantebiomasse samt for ubehandlet og tilsvarende forgasset husdyrgødning til vårbyg (nedfældet) og vinterhvede (slangeudlagt) målt i miniplots. For kvæggylle steg gødningsvirkningen med ca. 10 % point i overensstemmelse med den stigning i andel af ammonium N på ca. 10 %, jf. Tabel 5. Det ses også, at gødningsvirkningen ved slangeudlægning i nogle tilfælde kun har været omtrent halv så stor som ved nedfældning til vårbyg, som følge af store ammoniaktab. Forskellen i gødningsvirkning mellem slangeudlagt og nedfældet gylle steg med faldende andel af ammonium N (omvendt korreleret med gødningen tørstofindhold). I de følgende beregninger af gødningsvirkningen før

og efter afgasning er det forudsat, at gødningen udbringes med små ammoniaktab, f.eks. ved nedfældning. Tilsvarende effekter er fundet i landsforsøg. Se Figur 7.



Figur 6. Gødningsevirkning af afgasset plantebiomasse og afgasset og ubehandlet gylle efter simuleret nedfældning til vårbyg og slangeudlægning i vinterhvede målt i mikro-parcel forsøg (Sørensen et al., 2012). I figuren til højre er de samme data vist som funktion af NH₄-andelen af total N i de forskellige gødninger.



Figur 7. Gødningsevirkninger målt efter tilførsel af kvæg- og svinegylle og blandet afgasset gylle ved nedfældning og slangeudlægning i vinterhvede. Gennemsnit af 12 års landsforsøg (Pedersen, 2001).

I Tabel 14 er beregnet effekten af afgasning på tilgængeligt N i første år, og denne effekt er omregnet til ændringer i udbytte i vårbyg, vinterhvede og vinterraps. Den øgede gødningsevirkning er baseret på ændringer i andelen af ammonium-N fra Tabel 5, og antagelse om at førstearsvirkningen af gødningen svarer til andelen af ammonium N. Jensen (2015) har beskrevet en mere detaljeret beregningsmodel til beregning af gødningsevirkning efter bioforgasning.

Den øgede N tilgængelighed (værdital) er omregnet til ændret udbytte på basis af N handelsgødningsrespons ved normtilførsel, beregnet på basis af Knudsen (2010). Med de nuværende udnyttelseskrav medfører bioforgasning merudbytter i afgrøden. Efter bioforgasning er eftervirkningen af gødningen imidlertid også lavere, idet der efterlades mindre organisk N i jorden (Schröder et al., 2007). På lang sigt vil den samlede udbyttegevinst derfor være lavere end gevinsten i første år. Vi skønner, at den langsigtede effekt på udbytter vil være omtrent halvt så stor som den beregnede førsteårs effekt i Tabel 12. Det betyder, at den langsigtede effekt på gødningsvirkningen kun vil være en øget virkning på 5-8 kg N/DE. Jensen (2015) har tilsvarende beregnet en stigning i det potentielle værdital (inklusive 10 års eftervirkning) på 8 kg N/DE efter bioforgasning af både svine- og kvæggylle. Forskellen i samlet gødningsvirkning mellem afgasset og ikke afgasset gødning reduceres en smule, hvis der regnes med længere eftervirkning end 10 år (som Jensen, 2015), efterhånden som den større andel af den ekstra organiske N i ubehandlet gødning mineraliseres og kan udnyttes af planter.

Tabel 14. Effekter af bioforgasning på tilgængeligt N i første år, samt på merudbytter i vinterraps, vinterhvede og vårbyg. Udbytteeffekter beregnet på grundlag af Knudsen (2010) med de **nuværende udnyttelseskrav** og N normer. På lang sigt forventes de samlede udbytteeffekter kun at være halvt så store som følge af reduceret eftervirkning efter afgasning.

Gødning	Effekt af afgasning på tilgængeligt N (1. år)	Merudbytter ved afgasning 1. år (hkg kerne el. frø/DE)					
		Lerjord (JB6)			Sandjord (JB3)		
	kg N/DE	Vinterraps	Vinterhvede	Vårbyg	Vinterraps	Vinterhvede	Vårbyg
100% svinegylle	11,0	0,56	1,24	1,02	0,56	1,24	1,02
100% kvæggylle	10,0	0,51	1,13	0,93	0,51	1,13	0,93
25% dybstrøelse 75% kvæggylle	12,1	0,61	1,36	1,12	0,61	1,36	1,12
25% fiskeaffald 75% kvæggylle	14,3	0,73	1,61	1,33	0,73	1,61	1,33
25% fiskeaffald 75% svinegylle	13,4	0,69	1,52	1,25	0,69	1,52	1,25
25% slagteriaffald 75% svinegylle	14,8	0,76	1,67	1,38	0,76	1,67	1,38
25% majsens. 75% svinegylle		Ikke relevant			Ikke relevant		

Hvis udnyttelseskravet øges med 15 % for alle biomasser i forbindelse med bioforgasning, vil det medføre udbyttetab allerede i første år, se Tabel 15, og på lang sigt vil tabene være større som følge af mindre eftervirkning efter bioforgasning.

Tabel 15. Effekter af bioforgasning og ændrede udnyttelseskrav på tilgængeligt N i første år, samt på merudbytter i vinterraps, vinterhvede og vårbyg. Udbytteeffekter er beregnet på grundlag af Knudsen (2010) **ved øget udnyttelseskrav på 15 % for alle afgassede biomasser**. På lang sigt forventes de samlede udbytteeffekter at være mere negative som følge af reduceret eftervirkning.

Gødning	Effekt af afgangning og udnyttelseskrav på tilgængeligt N (1. år)	Merudbytter ved afgangning 1. år (hkg kerne el. frø/DE)					
		Lerjord (JB6)			Sandjord (JB3)		
	kg N/DE	Vinterraps	Vinterhvede	Vårbyg	Vinterraps	Vinterhvede	Vårbyg
100 % svinegylle	-4,0	-0,20	-0,45	-0,37	-0,20	-0,45	-0,37
100 % kvæggylle	-5,0	-0,26	-0,57	-0,47	-0,26	-0,57	-0,47
25 % dybstrøelse 75 % kvæggylle	-2,9	-0,15	-0,33	-0,27	-0,15	-0,33	-0,27
25 % fiskeaffald 75 % kvæggylle	-0,7	-0,04	-0,08	-0,07	-0,04	-0,08	-0,07
25 % fiskeaffald 75 % svinegylle	-1,6	-0,08	-0,18	-0,14	-0,08	-0,18	-0,14
25 % slagteriaffald 75 % svinegylle	-0,2	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02

Tabel 16. Effekter af bioforgasning og ændrede udnyttelseskrav på tilgængeligt N i første år, samt på merudbytter i vinterraps, vinterhvede og vårbyg. Udbytteeffekter er beregnet på grundlag af Knudsen (2010) **ved ændring af det samlede udnyttelseskrav til 80 % for afgasset gødning**. På lang sigt forventes de samlede udbytteeffekter at være lavere som følge af reduceret eftervirkning.

Gødning	Effekt af afgang og udnyttelseskrav på tilgængeligt N (1. år) kg N/DE	Merudbytter ved afgang 1. år (hkg kerne el. frø/DE)					
		Lerjord (JB6)			Sandjord (JB3)		
		Vinterraps	Vinterhvede	Vårbyg	Vinterraps	Vinterhvede	Vårbyg
100% svinegylle	6,0	0,31	0,68	0,56	0,31	0,68	0,56
100% kvæggylle	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25% dybstrøelse 75% kvæggylle	-0,5	-0,03	-0,06	-0,05	-0,03	-0,06	-0,05
25% fiskeaffald 75% kvæggylle	-8,5	-0,44	-0,96	-0,79	-0,44	-0,96	-0,79
25% fiskeaffald 75% svinegylle	-1,1	-0,05	-0,12	-0,10	-0,05	-0,12	-0,10
25% slagteriaffald 75% svinegylle	6,8	0,35	0,77	0,63	0,35	0,77	0,63

Effekten af bioforgasning kombineret med udnyttelseskrav på 80 % vil medføre omtrent uændret udbytte ved anvendelse af kvæggylle og i nogle tilfælde øgede udbytter ved afgang af svinegylle i første år, se Tabel 16. Men også her skal der forventes lavere udbytter i de efterfølgende år, idet den langsigtede gødningsvirkning reduceres med 5-7 kg N/DE. Det betyder samlet set en uændret udbytteeffekt på lang sigt i nogle scenarier, mens der vil være en samlet udbyttereduktion i andre scenarier.

5. Andre danske modeller til beregning N-udvaskning ved anvendelse af husdyrgødning og bioforgasning

Ved miljøgodkendelser i forbindelse med etablering og ændring af landbrugsbedrifter anvendes Farm-N modellen (Petersen et al. 2006). Farm-N modellen er opsat på en måde, der indebærer, at der beregnes en større N-udvaskning ved tilførsel af afgasset husdyrgødning i forhold til en tilsvarende mængde ubehandlet husdyrgødning (Vinther et al., 2012). Dette er naturligvis uheldigt, idet der, set på lidt længere sigt, kan forventes lavere N-udvaskning ved bioforgasning jf. denne rapport.

N-LES3- og N-LES4-modellerne (Kristensen et al., 2008) vil også beregne en lidt højere udvaskning ved anvendelse afgasset gødning end ved ubehandlet gødning. Det skyldes, at disse modeller beregner en større udvaskning fra tilført uorganisk N end fra organisk N i gødning på kort sigt. Dette er i modstrid med resultaterne, der er gennemgået i Appendiks A, hvor der er lavet en direkte sammenligning af udvaskning ved anvendelse af husdyrgødning og handelsgødning. N-LES3- og N-LES4-modellerne er ikke opbygget på baggrund af forsøgsdata, hvor der er anvendt bioafgassede organiske gødninger. Modellerne baseres på forsøgs- og markdata (1199 målinger i NLES3 og 1467-målinger i NLES4), hvor der er tilført handelsgødning i mineralsk form og ubearbejdet kvæggylle, svinegylle og dybstrøelse. Modellen er ikke kalibreret til at kunne respondere direkte på en sammenligning med ens afgrøde og jordtype, som i forsøgene i Appendiks A. I N-LES-modellerne er fundet, at jo større andel af total N der findes som mineralsk N (Ammonium), des større er den kortsigtede udvaskning. Modellen tager kun delvist højde for den langsomme frigivelse af mineralsk N, der forekommer fra den organiske fraktion, ved at der indgår et langsigtet N-gødningsniveau som beskrirende parameter. Her vil N-niveauet (beregnet som gennemsnitlig mineralsk N + organisk N + N fiksering for de seneste fem år) være større for dybstrøelse og kvæggylle end for svinegylle, ved at kravene til udnyttelsesprocenten er lavere for kvæggylle og dybstrøelse, sammenlignet med svinegylle. Men ved at N-gødsning og N-fiksering er korreleret til typen af sædskifte forringes modellens prediktionsevne for organiske gødninger yderligere. Det betyder f.eks., at kvæggylle og dybstrøelse typisk er tilført til grovfodersædskifter med højere N-norm, mens svinegylle og handelsgødning typisk tilføres til planteavlssædskifter med lavere N-norm. Yderligere må det bemærkes, at ca. 30 % af de data der indgår i N-LES4 stammer fra økologiske sædskifteforsøg, hvor der kun har været anvendt organiske gødninger ved et moderat N-niveau kombineret med høj andel af efterafgrøder. I sådanne forsøg er det vanskeligt at adskille effekten af tilført organisk N og uorganisk N, idet de er stærkt korreleret. N-LES3-modellen indgår som en del af Farm-N-modellen til fordeling af bedrifts N-overskuddet. Der arbejdes pt. på en opdatering af NLES4-modellen.

Implement-modellen (<http://implement.nu/biogas-naering/>) er tiltænkt som værktøj til beregning af miljøeffekter ved etablering af biogasanlæg. Den er baseret på en N-balance-model, hvori indgår input af N i form af handelsgødning og organisk gødning, mens output beregnes ud fra standardudbytter, ammoniaktab beregnet med en fast faktor og denitrifikation modelberegnes med SimDen (Vinther & Hansen, 2004). Overskuddet i denne balance beregning antages at gå til udvaskning. Der tages ikke hensyn til ændringer i den organiske N-pulje i jorden. Det indebærer, at al organisk N i gødning, der frigives på lang sigt, antages at

blive udvasket (selvom vi regner med, at mindst 50 % af dette N kan udnyttes af afgrøder). Modellen tager heller ikke højde for den højere N-tilgængelighed efter afgang, der alt andet lige vil medføre, at forholdsvis mere N fjernes med afgrøder, og mindre N udvaskes på lang sigt. Dermed vil udvaskningen blive overestimeret. I denne model vil man beregne samme N-udvaskning med og uden bioforgasning, hvis tilførslen af N med organisk gødning og udnyttelseskrav holdes konstant.

6. Konklusioner

- En gennemgang af en række udvaskningsforsøg, hvor udvaskningen efter tilførsel af handelsgødning og husdyrgødning er sammenlignet direkte, har vist, at det med god tilnærmelse kan antages, at udvaskningen fra tilført organisk og uorganisk N er ens i første år efter tilførslen. Det vurderes, at N-LES4-modellen giver det bedste estimat for den kortsigtede udvaskning fra tilført uorganisk N.
- Den langsigtede udvaskning er større fra det organisk bundne N, idet en større andel af det organisk bundne N forbliver i jorden efter første år og frigives senere. Udvasningsfaktoren fra dette organisk bundne N, der efterfølgende mineraliseres, er vurderet til at være dobbelt så høj som fra tilført uorganisk N. Ved bioforgasning sker der en reduktion i andelen af organisk bundet N, der betyder, at der på lang sigt vil være en lavere N-udvaskning fra afgasset biomasse.
- Der er opstillet en ny model til beregning af N-udvaskning ved anvendelse af husdyrgødning og afgasset gødning, idet eksisterende udvaskningsmodeller ikke vurderes at beskrive den langsigtede udvaskning fra organiske gødninger tilfredsstillende.
- Set over en 10 årig horisont beregnes reduktionen i N-udvaskning fra ren svine- og kvæggylle til 1,0-2,0 kg N/DE, og over 50 år beregnes en reduktion på 1,5-3,1 kg N/DE afhængigt af jordtype og nedbørsforhold. Ved samforgasning af husdyrgødning med andet organisk affald opnås en lidt højere reduktion i N-udvaskningen.
- Anvendelse af majsensilage som energiafgrøde i biogasanlæg medfører en stigning i udvaskningen, i forhold til ubehandlet husdyrgødning, hvis masse-forholdet er 25 % majsensilage og 75 % gylle. Hvis majsensilage kun udgør 12 % af massen, er den langsigtede effekt på N-udvaskningen tæt på 0, men der opnås ingen reduktion i N-udvaskningen, som ved bioforgasning af husdyrgødning og biomasse der tilføres jorden under alle omstændigheder. Tilsvarende gælder for andre typer affald, som ikke ville blive anvendt i jordbruget uden en bioforgasning (her kaldt "nyt affald").
- Ved tilførsel af mere end 10 % af den samlede N-tilførsel til biogasanlæg med energiafgrøde eller i "nyt affald" beregnes større langsigtet N-udvaskning ved bioforgasning end i reference situationen uden afgasning af husdyrgødning (ved et udnyttelseskrav på 40 % for N i energiafgrøde eller "nyt affald"). Ved lavere andel af N i energiafgrøde eller ved et øget udnyttelseskrav reduceres N-udvaskningen efter bioforgasning.
- Den potentielle gødningsværdi stiger ved afgasning med 10-15 kg N/DE i tilførselsåret, men da eftervirkningen også reduceres vurderes den langsigtede stigning i gødningsværdi kun til 5-8 kg N/DE.

Litteratur

- Clemens, J., Thimborn, M., Weiland, P., Amon, B. 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agric. Ecosyst. Environment* 112, 171-177.
- Fodermiddeltabel (2000). Fodermiddeltabel. Sammensætning og foderværdi af fodermidler til kvæg. Rapport nr. 91. Landsudvalget for Kvæg.
<https://www.landbrugsinfo.dk/Kvaeg/Foder/Sider/Fodermiddeltabel.aspx>
- Goulding, K.W.T., Poulton, P.R., Webster, C.P. and Howe, M.T. (2000), Nitrate leaching from the Broadbalk Wheat Experiment, Rothamsted, UK, as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather. *Soil Use and Management*, 16: 244–250.
- Hansen, M.N., Sommer, S.G., Hutchings, N.J., Sørensen, P. 2008. Emissionsfaktorer til beregning af ammoniakfordampning ved lagring og udbringning af husdyrgødning. DJF Husdyrbrug nr 84. 43 pp.
- Jensen, L.S. 2015. Udvikling af beregningsmodel til bestemmelse af gødningsværdi og fastsættelse af udnyttelsesprocent for biomasser til biogasanlæg. Københavns Universitet. 40. pp.
- Jensen, P.N. (red.), Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Vinther, F.V., Børgesen, C.D., Schelde, K., Rubæk, G., Sørensen, P., Olesen, J.E. & Knudsen, L. 2014. Fastsættelse af baseline 2021. Effektvurdering af planlagte virkemidler og ændrede betingelser for landbrugsproduktion i forhold til kvælstofudvaskning fra rodzonen for perioden 2013-2021. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 76 s. - Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 43
- Knudsen, L. 2010. Beregning af konsekvensen af undergødskning. Planteavlsoverretning nr 037. 9. december 2010, VFL, Skejby.
- Kristensen, K., Waagepetersen, J., Børgesen, C.D., Vinther, F.P., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G. (2008). Reestimation and further development in the N-LES – NLES3 to NLES4. DJF Plant Science no 139. 1-25.
- Möller, K., Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: a review. *Eng. Life Sci.* 12, 242-257.
- Pedersen, C. Å. 2001. Oversigt over landsforsøgene 2001. Landsudvalget for planteavl.
- Petersen, J., Djurhuus, J. 2004. Sammenhæng mellem tilførsel, udvaskning og optagelse af kvælstof i handelsgødning, kornrige sædskifter. DJF rapport markbrug nr 102. 61 pp.
- Petersen, J., Petersen, B. M., Blicher-Mathiesen, G., Ernstsens, V., and Waagepetersen, J. (2006) Beregning af nitratudvaskning. Forslag til metode, der sikrer ensartethed i sagsbehandlingen i forbindelse med fremtidig miljøgodkendelse af husdyrudvidelser. Danmarks JordbrugsForskning. Rapport. Markbrug 124, 1-147.
- Petersen, J., Sørensen, P. (2008) Gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning – Grundlag for fastlæggelse af substitutionskrav. DJF Rapport Markbrug nr 138. 111 pp.
- Schou, J.S., Kronvang, B., Birr-Pedersen, K., Jensen, P.L., Rubæk, G.H., Jørgensen, U., Jacobsen, B.H. (2007). Virkemidler til realisering af målene i EUs vandramme-direktiv: udredning for udvalg nedsat af Finansministeriet og Miljøministeriet: langsigtet indsats for bedre vandmiljø. Faglig rapport fra DMU nr 625, s. 85-87.

- Schröder, J.J., Uenk, D., Hillhorst, G.J. 2007. Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant and Soil* 299, 83-99.
- Sebilo, M., Mayer, B., Nicolardot, B., Pinay, G., Mariotti, A. 2013. Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils. *PNAS* 110, 18185-18189.
- Svoboda, N., Taube, F., Wienforth, B., Kluss, C., Kage, H., Hermann, A. 2013. Nitrogen leaching losses after biogas residue application to maize. *Soil & Tillage Research* 130, 69-80.
- Sørensen P., Birkmose, T. (2002). Kvælstofudvaskning efter gødskning med afgasset gylle. *Grøn Viden, markbrug nr 266*.
- Sørensen, P., Rubæk, G.H. 2012. Leaching of nitrate and phosphorus after autumn and spring application of separated solid manures to winter wheat. *Soil Use and Management* 28,1-11.
- Sørensen, P., Vinther, F.P. (2012). Udvaskningseffekt af afgasset gylle. Notat til Natur og Landbrugskommissionen, AU, November 2012.
- Sørensen, P., Khan, A.R., Møller, H.B., Thomsen, I.K. 2012. Effects of anaerobic digestion of organic manures on N turnover and N utilization. In: Richards, K.G., Fenton, O., Watson, C. J. (Eds). *Proceedings of the 17th Nitrogen Workshop –Innovations for sustainable use of nitrogen resources. 26th – 29th June 2012, Wexford, Ireland, p. 80-81. ISBN-10: 1-84170-588-8.*
http://programme.exordo.com/nitrogenworkshop2012/proceedings_v7.pdf
- Thomsen, I.K., Kjellerup, V. & Jensen, B. 1997. Crop uptake and leaching of ¹⁵N applied in ruminant slurry with selectively labelled faeces and urine fractions. *Plant and Soil* 197, 233-239.
- Vinther, F. P. & Hansen, S. 2004. SimDen - en simpel model til kvantificering af N₂O-emission og denitrifikation. DJF rapport Markbrug 104, 1-47.
- Vinther, F.P., Kristensen I.S., Sørensen, P. 2012. Notat om effekt af udnyttelsesprocent for afgasset gylle. DCA, 8. Oktober 2012.
- Vinther, F.P, Sørensen, P., Jørgensen, M.S., Kristensen, I.S. 2013. Beregning af N-udvaskning i Farm-N med ændret tidshorisont. AU notat. April 2013.

Appendiks A. Sammenligning af kvælstofudvaskning målt efter tilførsel af uorganisk N og organisk N i gødning

Med henblik på at vurdere og sammenligne den kortsigtede udvaskning efter tilførsel af N på enten uorganisk eller organisk bundet form, er i det følgende gennemgået en række udvaskningsforsøg, hvor der er lavet en direkte sammenligning af udvaskningen efter tilførsel af uorganisk N i form af handelsgødning og udvaskningen efter tilførsel af organiske gødninger. I de sammenlignende figurer er N-udvaskningen relateret til tilførslen af total N med gødning, hvilket giver mulighed for at sammenligne udvaskningen fra uorganisk N med udvaskningen fra organisk N, idet vi antager at udvaskningen fra det uorganiske N er ens uanset om det er tilført i handelsgødning eller organisk gødning.

Figur A1 viser gennemsnitlig årlig nitratudvaskning efter tilførsel af kvæggødning sammenlignet med uorganisk gødning målt i et 10 årigt lysimeterforsøg med gentagen tilførsel af samme gødningstype og -mængde i 10 år. Det betyder, at der på parceller med husdyrgødning gennemsnitligt var tilført husdyrgødning i 5 år med en tilsvarende eftervirkning på udvaskningen. Ved dyrkning af vårbyg på grovsandet jord (JB1) var der tendens til højere marginaludvaskning fra det organiske N i kvæggylle. På lerjord (JB7) var udvaskningen dog stort set ens fra organisk og uorganisk gødning. Ved dyrkning af roer (i sædskifte) var udvaskningen højere fra organisk N end fra uorganisk N, men marginal udvaskningen var generelt lav på 3-4 %. Husdyrgødningen blev i disse forsøg tilført om vinteren, mens tilførsel af handelsgødning først ske om foråret. Det kan i nogle år have medført større udvaskning fra den organiske gødning. Der er dog ikke noget der tyder på, at det har haft stor betydning, når der sammenlignes med senere forsøg hvor tilførsel af husdyrgødning først er sket om foråret.

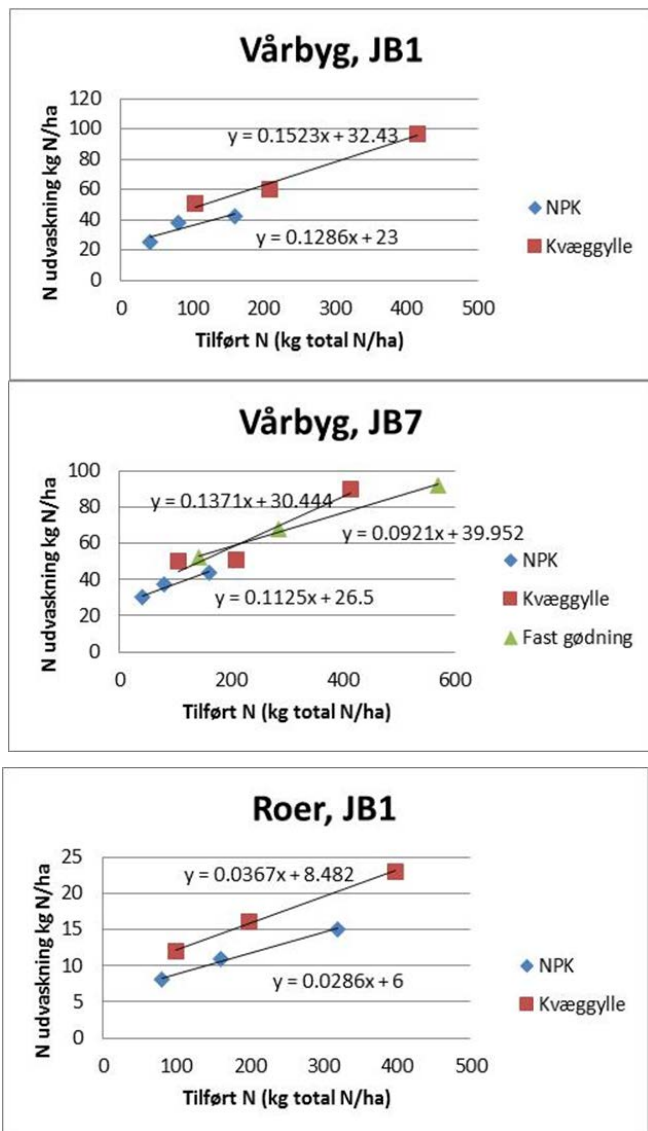


Fig. A1. Gennemsnitlig årlig nitrat udvaskning relateret til årlig N-tilførsel målt i lysimetre med gentagen tilførsel af uorganisk eller organisk gødning over en 10 årig periode på Askov forsøgsstation (Data fra Larsen og Kjellerup, 1989).

Et lignende lysimeter forsøg viste ligeledes øget marginaludvaskning af nitrat efter tilførsel af svinøgylle sammenlignet med tilførsel af uorganisk N til vårbyg på lerjord (Fig. A2). I dette forsøg indgik 4 års gentagne tilførsler, og gennemsnitligt var der således en eftervirkning fra 2 års tilførsel. Derimod var der efter tilførsel til vinterhvede, græs og roer ikke klare forskelle i marginaludvaskningen fra uorganisk N og organisk gødning.

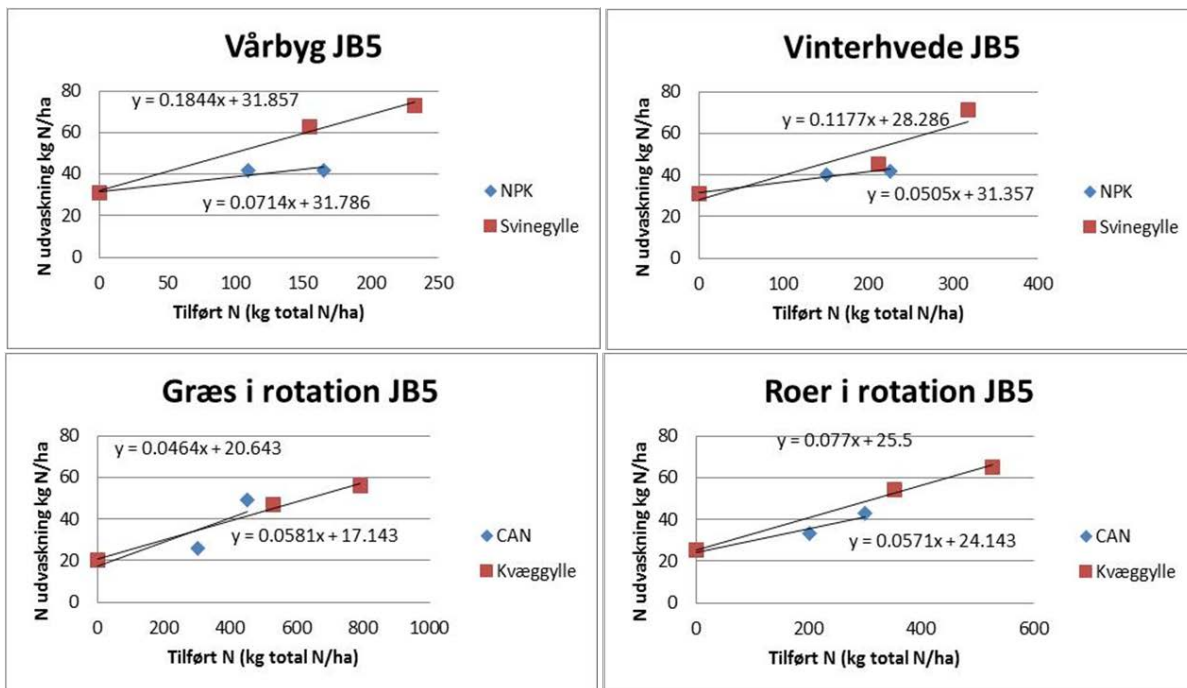


Fig. A2. Gennemsnitlig årlig nitrat udvaskning målt i lysimetre med gentagen tilførsel af uorganisk (NPK eller CAN) eller organisk gødning målt over en 4-årig periode på Askov forsøgsstation og relateret til årlig N tilførsel (Data fra Thomsen et al., 1993).

Et andet forsøg hvor et års tilførsel af fast kvæggødning blev sammenlignet med uorganisk N i de følgende 2 år var der heller ikke klar forskel i marginaludvaskningen efter tilførsel af uorganisk N og organisk gødning. I andet år efter tilførslen af gødning var der en marginaludvaskning på ca. 5 % af tilført total N (Fig. A3). Disse resultater understøttes af Thomsen et al. (1997), der i forsøg med ^{15}N -mærket husdyrgødning sammenlignet med ^{15}N -mærket uorganisk N også fandt, at den procentvise udvaskning af mærket N var omtrent ens de første 2 år efter tilførslen til vårbyg, uanset om det var tilført som uorganisk N i handelsgødning eller som organisk bundet N i husdyrgødning.

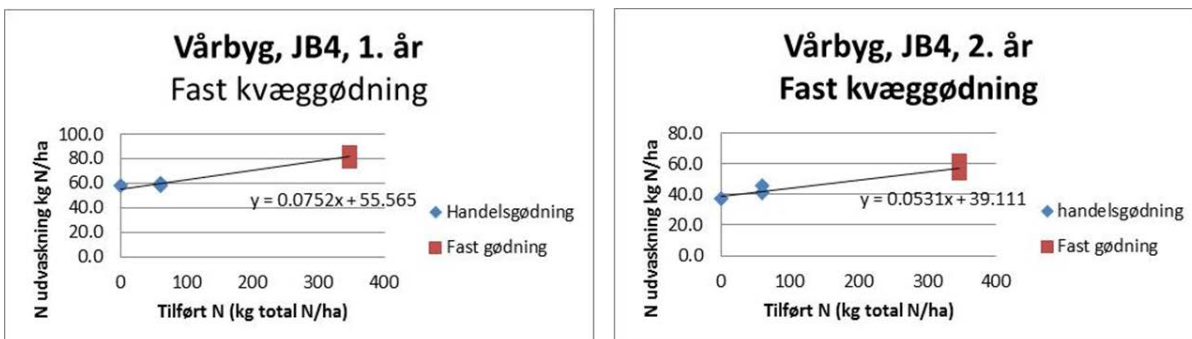


Fig. A3. Årlig nitrat udvaskning i relation til total N-tilførsel målt efter tilførsel af uorganisk gødning og fast kvæggødning målt i 1. og 2. år efter tilførsel i lysimetre ved Forskningscenter Foulum. I andet år er kun tilført handelsgødning til alle behandlinger. (data fra Thomsen, 2005).

De foregående forsøg er udført i lysimetre, hvor det kan forventes at vækstforholdene er nær optimale. Under markforhold vil der være større variation i vækstforholdene, f.eks. som følge af hjulspor og mangel på andre næringsstoffer. Det kan betyde større risiko for udvaskning af det tilførte N. I Fig A4 er vist resultater fra målinger med sugeceller under normale markforhold. Her blev udvaskningen sammenlignet efter tilførsel af uorganisk N og kvæggylle til majs. Resultatet skal tolkes forsigtigt, idet handelsgødning blev tilført til en mark med forfrugt vårbyg, mens kvæggylle blev tilført nærliggende mark med forfrugt majs. Jordtype, målemetode og klimaforhold er dog helt sammenlignelige. Også her var marginaludvaskningen ens for uorganisk N og organisk gødning undtagen i forsøget på grovsandet jord i 2010, hvor der var en meget høj marginaludvaskning fra det uorganiske N. Det skyldes sandsynligvis en uventet lav udvaskning ved tilførsel af ca. 110 kg N/ha i handelsgødning, kombineret med høj udvaskning ved det højeste N-niveau, hvor majs afgrøden sandsynligvis ikke var i stand til at udnytte det tilførte N i handelsgødning.

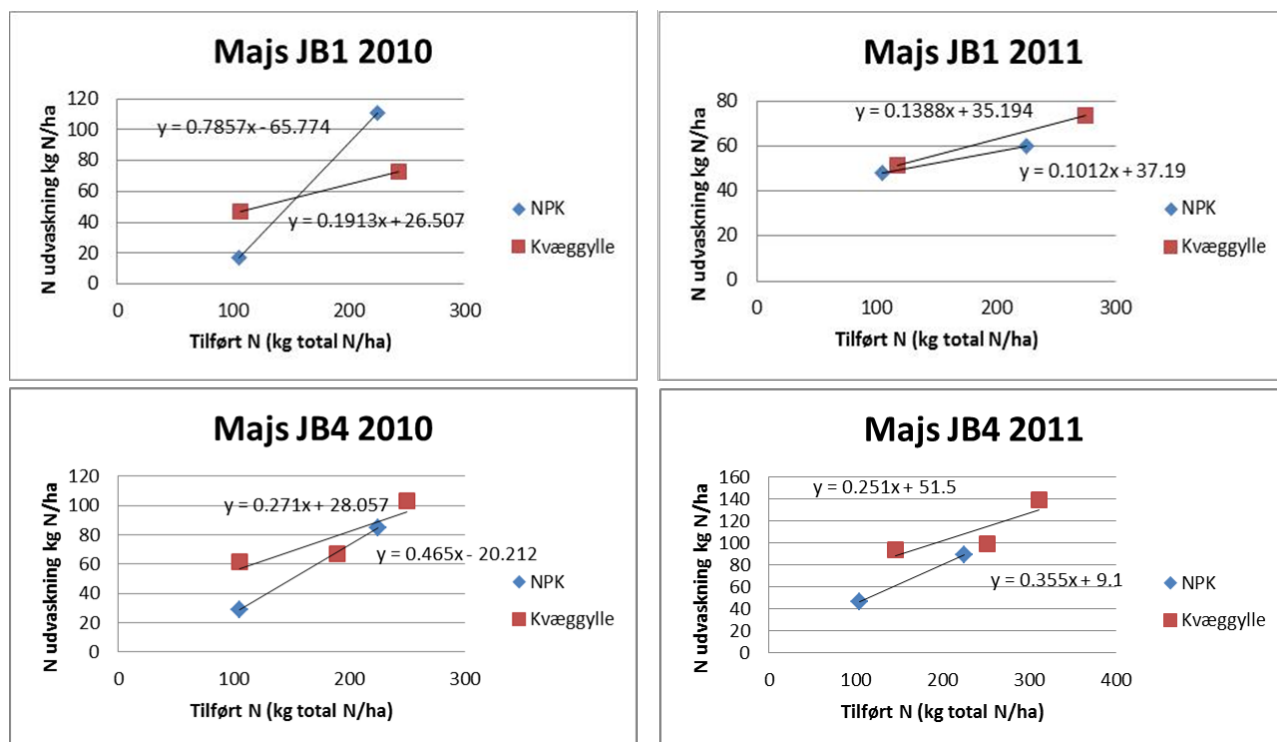
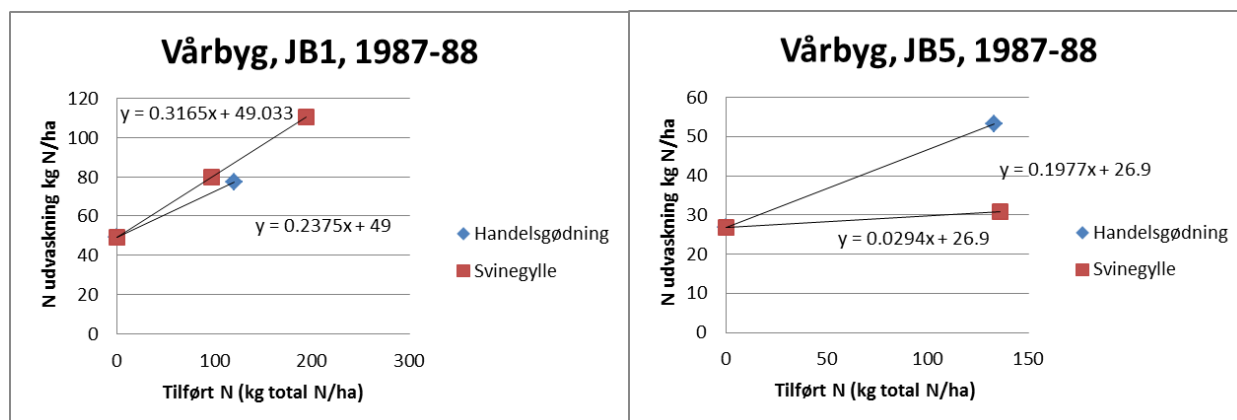


Fig. A4. Årlig nitratudvaskning relateret til total N tilført med handelsgødning eller kvæggylle målt med sugeceller i 2010 og 2011. Handelsgødning blev tilført på mark med forfrugt vårbyg, mens kvæggylle er tilført på nærliggende mark med forfrugt majs tilhørende et kvægbrug. Forsøg var placeret ved Jyndevad (JB1) og Foulum (JB4). (upubliseret data fra I.S. Kristensen, AU).

Figur A5 viser udvaskning målt med sugeceller i første år efter tilførsel af svinegylle og handelsgødning til vårbyg på grovsandet jord i Jyndeved (JB1) og lerjord i Askov (JB5). Igen fandtes omtrent samme udvaskning fra total N i gylle og handelsgødning på sandjorden. På lerjorden var der størst udvaskning fra handelsgødning, men det skal bemærkes, at der ikke var statistisk sikker forskel i den målte udvaskning mellem behandlinger på lerjorden.



Figur A5. Kvælstof udvaskning målt med sugeceller første år efter tilførsel af handelsgødning eller svinegylle og relateret til total N-tilførsel på grovsandet jord (JB1, Jyndeved) og lerjord (JB5, Askov) (data fra Djurhuus, 1992).

På grundlag af ovenstående sammenligninger konkluderes, at man med god tilnærmelse kan forvente den samme N-udvaskning fra tilført organisk bundet N og uorganisk N i det første år efter tilførslen. Det uorganiske N er umiddelbart mere tilgængeligt for udvaskning, men en betydelig del af det mineraliserede organiske N frigives først efter afslutning af afgrødens vækst, hvorfor en stor del heraf kan udvaskes.

Efter tilførsel af husdyrgødning forventes en øget ammoniakfordampning og øget kvælstoftab til luften ved denitrifikation, der alt andet lige medfører, at der er mindre N tilgængeligt for udvaskning. Det må også antages, at disse tab er sket i forsøgene, men det har ikke medført reduceret udvaskning i forhold til handelsgødning når udvaskningen relateres til total N tilførslen. Under dårlige vækstforhold eller i forbindelse med store nedbørsmængder tidligt i vækstsæsonen, der medfører større udvaskning tidligt i sæsonen, må der dog forventes større udvaskning fra tilført uorganisk N. Men de arealer, hvor det sker, udgør kun en lille andel af det samlede dyrkningsareal.

Flere undersøgelser med direkte sammenligning af N udvaskning efter tilførsel fra husdyrgødning, bioafgasset gødning og handelsgødning ville være ønskeligt.

Litteratur (Appendiks)

- Djurhuus, J. 1992. N-transformations and N-transport in a sandy loam and a coarse sandy soil cropped with spring barley. II. Nitrate leaching. *Tidsskrift for Planteavl* 96, 137-152.
- Larsen, K.E., Kjellerup, V. (1989). Årlig og periodisk tilførsel af kvæggødning i sædskifte. Mark- og lysimeterforsøg. Udbytte, udvaskning og balancer for næringsstoffer samt jordbundsforhold. Statens Plant-eavlsforsøg. Beretning nr S 1979, 99 pp.
- Thomsen, I.K., 2005. Crop N utilization and leaching losses as affected by time and method of application of farmyard manure. *European Journal of Agronomy* 22, 1-9.
- Thomsen I.K., Hansen, J.F. Kjellerup, V., Christensen, B.T. 1993. Effects of cropping system and nitrogen in animal slurry and mineral fertilizer on nitrate leaching from a sandy loam. *Soil Use and Management* 9, 53-58.
- Thomsen, I.K., Kjellerup, V., Jensen, B., 1997. Crop uptake and leaching of ¹⁵N applied in ruminant slurry with selectively labelled faeces and urine fractions. *Plant and Soil* 197, 233-239.

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevarerforskningen ved Aarhus Universitet (AU). Centrets hovedopgaver er videnudveksling, rådgivning og interaktion med myndigheder, organisationer og erhvervsvirksomheder.

Centret koordinerer videnudveksling og rådgivning ved de institutter, som har fødevarer og jordbrug, som hovedområde eller et meget betydende delområde:

Institut for Husdyrvidenskab
Institut for Fødevarer
Institut for Agroøkologi
Institut for Ingeniørvidenskab
Institut for Molekylærbiologi og Genetik

Herudover har DCA mulighed for at inddrage andre enheder ved AU, som har forskning af relevans for fagområdet.

RESUME

Ved bioforgasning af organisk gødning omdannes en del af det organisk bundne kvælstof (N) i gødningen til uorganisk N. Det har betydning for gødningens N-virkning og også betydning for N-udvaskningen. I denne rapport beregnes N-udvaskning ved anvendelse af ubehandlet eller afgasset organisk gødning med en ny simpel model, idet eksisterende modeller vurderes at beskrive den langsigtede udvaskning fra organisk gødning utilfredsstillende. På basis af revurdering af en række forsøg, er det fundet, at udvaskningen fra organisk N og uorganisk tilnærmedesvis er ens i første år efter tilførslen. Den langsigtede udvaskning fra mineraliseret organisk N, der er tilbage i jorden 1 år efter tilførsel af gødning antages at udvaskes med en udvaskningsfaktor der er dobbelt så høj som udvaskningsfaktoren for tilført uorganisk N, og tidsforløbet for udvaskning er beregnet med en simpel mineraliseringsmodel. Med de nuværende udnyttelseskrav til afgasset biomasse beregnes over en 10 årig horisont en reduktion i udvaskningen på 1,0-2,7 kg N/dyreenhed afhængigt af jordtype og gødningstype. Over en 50-årig horisont er den tilsvarende reduktion i udvaskningen beregnet til 1,5-4,2 kg N/dyreenhed. Stigende andel af tilført energifærgede, som f.eks. majsensilage medfører mindre reduktion af N udvaskningen efter bioforgasning, og ved en N andel fra energifærgede over 10% beregnes øget langsigtet N udvaskning i forhold til tilførsel af ubehandlet husdyrgødning. Tilsvarende effekter fås ved tilførsel af "nyt" affald. Den potentielle gødningsvirkning i tilførselsåret forventes at øges med 10-15 kg N/dyreenhed efter bioforgasning. Til gengæld vil der være en lavere eftervirkning af den afgassede gødning i årene efter tilførslen, så den langsigtede stigning kun er 5-8 kg N/dyreenhed.

