

18. august 2014

Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet

*Michael Jørgen Hansen ¹⁾, Tavs Nyord ¹⁾, Berit Hasler ²⁾, Hanne Damgaard
Poulsen ³⁾ og Peter Lund ³⁾*

¹⁾ Institut for Ingeniørvidenskab,

²⁾ Institut for Miljøvidenskab,

³⁾ Institut for Husdyrvidenskab

Forord

Nærværende rapport er udarbejdet af forskere ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (AU/DCA) på bestilling fra NaturErhvervstyrelsen (NAER) den 24. juni 2014. Rapporten er udarbejdet som led i ”Aftale mellem Aarhus Universitet og Fødevareministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening m.v. ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 2014-2017” (Punkt BT-2 i aftalens Bilag 2).

Rapporten giver en samlet oversigt over miljøteknologier, der benyttes inden for det primære jordbrugserhverv, herunder deres miljøeffekt, omkostninger samt omkostningseffektivitet. Rapporten anvendes af NAER til prioritering af ansøgninger i anledning af Fødevareministeriets miljøteknologiordning, omfattende tilskud til investeringer i grønne processer og teknologier i den primære jordbrugsproduktion¹. Miljøteknologiordningen er i 2014 målrettet tilskud til investeringer inden for følgende to indsatsområder: *Indsatsområde 3) Teknologier til reduktion af ammoniak- og lugtemission ved lagring og udbringning af husdyrgødning; og Indsatsområde 5) Etablering af miljøvenlige produktionsanlæg til dyrehold med henblik på reduceret ammoniak- og lugtemission og energiforbrug.*

Rapporten blev første gang udarbejdet i 2010 og er siden opdateret i 2011, 2012 og 2013 (Kai et al., 2010; Kai et al., 2011; Hansen et al., 2012, Hansen et al., 2013). I indeværende rapport er kun indsatsområde 3 og 5 fra de tidligere rapporter inkluderet.

Susanne Elmholt

Seniorforsker, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

¹ Jf. Bekendtgørelse nr. 897 af 21/07/2014 om tilskud til investeringer i grønne processer og teknologier i den primære jordbrugsproduktion

Indholdsfortegnelse

Forord	2
Indholdsfortegnelse	3
Indledning	4
Grundlag for beregning af omkostningseffektivitet	4
Indsatsområde 3: Teknologier til reduktion af ammoniak- og lugtemission ved lagring og udbringning af husdyrgødning	7
Fast overdækning af gyllebeholder	7
Udbringning af husdyrgødning.....	9
Indsatsområde 5: Etablering af miljøvenlige produktionsanlæg til kvæg- og svinebrug med henblik på emission af lugt og ammoniak- samt energiforbrug	18
Kemisk og biologisk luftrensning	18
Gylleforsuring	24
Gyllekøling	27
Spaltegulvsskrabere.....	29
Høje skorstene	30
Reduktion i tab af næringsstoffer i forbindelse med fodring.....	31
Energibesparende teknologier	35
Referencer	37

Indledning

Som grundlag for at prioritere ansøgninger i regi af bekendtgørelsen om tilskud til projekter vedrørende investeringer i processer og teknologier på primære jordbrugsbedrifter er der foretaget beregninger af de enkelte teknologiers omkostningseffektivitet målt i ”kr. pr. kg sparet ammoniakemission”. Dette giver det bedst mulige grundlag for at sammenligne og prioritere forskellige miljøteknologier ud fra devisen ”mest miljø for pengene”.

Grundlag for beregning af omkostningseffektivitet

Ammoniakemission fra stald, lager og udbringning

Beregningerne vedrørende miljøteknologier, der knytter sig til stalde, er i nærværende rapport foretaget på grundlag af kvælstofudskillelsen fra husdyr, som beskrevet i ”Normtal for husdyrgødning 2013/2014” (Poulsen, 2013), som er en årlig opdatering af Poulsen *et al.* (2001). I Tabel 1 er angivet værdierne for udskillelse af dyr, den totale ammoniakemission fra stald, lager og udbringning og den samlede ammoniakemission pr. dyreenheder (DE).

Tabel 1. Udskillelse af kvælstof af dyr samt samlet ammoniakemission fra stald, lager og udbringning beregnet med udgangspunkt i normtal 2013/2014. Ammoniakemissioner er beregnet på grundlag af husdyrgødningens samlede indhold af kvælstof (total-N). Ammoniakemissionen pr. DE er baseret på det gældende beregningsgrundlag for beregning af dyreenheder (Tabel 2).

Dyreart og –kategori	Udskillelse	Ammoniakemission (stald, lager og udbringning)	
	kg N ab dyr	kg NH ₃ -N pr. årsdyr el. prod. dyr	kg N/DE
Slagtesvin, drænet gulv (32-107 kg)	2,84	0,65	25,5
Slagtesvin, 25-49% fast gulv (32-107 kg)	2,84	0,58	22,6
Slagtesvin, 50-75% fast gulv (32-107 kg)	2,84	0,50	19,6
Drægtige søer, delv. fast gulv	17,9	3,8	24,1
Diegivende søer, kassesti med delvist spaltegulv	7,7	1,5	21,9
Smågrise, to-klimastald (7,2-32 kg)	0,51	0,08	17,0
Malkekøer (stor race), ringkanal eller bagskyl	140,9	25,4	19,0
Malkekøer (stor race), gødningskanal med linespil	140,9	22,9	17,1
Malkekøer (jersey), ringkanal eller bagskyl	119,9	21,6	19,0

Beregning af antallet af DE er baseret på det gældende grundlag for fastsættelse af dyreenheder jf. bilag 2 punkt B i *Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om husdyrbrug og dyrehold for mere end 3 dyreenheder, husdyrgødning, ensilage m.v.* (BEK. nr. 853 af 30/06/2014). Tabel 2 viser antal årsdyr og producerede dyr der medgår til 1 DE.

Tabel 2. Husdyrarter og antal til 1 dyreenhed.

Dyretype	Enhed	Antal enheder til 1 DE
Malkekøer stor race uden opdræt (9517 kg EKM ¹)	1 årsko	0,75
Malkekøer Jersey uden opdræt (8594 kg EKM)	1 årsko	0,88
Søer med grise til fravæning (4 uger, ca. 7,2 kg)	1 årssø	4,4
Smågrise fra 7,2 til 32 kg	1 prod. dyr	208
Slagtesvin fra 32 til 107 kg	1 prod. dyr	39

¹ EKM: Energikorrigeret mælk

Driftsøkonomi og omkostningseffektivitet

I lighed med teknologirapporten fra 2013 (Hansen *et al.*, 2013) er der beregnet driftsøkonomiske kalkuler og miljøeffektivitet for en række miljøteknologier. I lighed med de tidligere års rapporter er omkostningerne beregnet i driftsøkonomiske priser og ikke i samfundsøkonomiske priser. De driftsøkonomiske omkostninger giver landmænd viden om omkostningerne ved at indføre teknologien på bedriften.

I lighed med Hansen *et al.* (2013) er grundlaget for beregningerne af omkostningerne ved teknologierne i videst muligt omfang harmoniseret, så miljøteknologiernes driftsøkonomi og miljøeffektivitet kan sammenlignes på så ensartet et grundlag som muligt.

De økonomiske betragtninger har i nærværende rapport taget udgangspunkt i en opdatering af forudsætningerne i det omfattende udredningsarbejde vedrørende miljøteknologier i landbruget, der er pågået i de seneste år i regi af Miljøstyrelsen. Omkostningsberegningerne i nærværende rapport er opdateret til 2013 priser. I nogle tilfælde er genberegningen sket med udgangspunkt i er omkostningerne angivet i 2012-rapporten (Hansen *et al.*, 2012) og disse er så prisfremskrevet. Dette gælder for f.eks. værdien af N og S i handelsgødning. Normtal for husdyrgødning er ligeledes opdateret. De øvrige økonomiske beregningsforudsætninger fremgår af Bilag 2.

Kapitalomkostninger

Kapitalomkostningerne omfatter gennemsnitlige årlige omkostninger til forrentning og afskrivning af investeringerne. Der er anvendt en rente på 4% iht. de seneste anbefalinger fra Finansministeriet (Energistyrelsen, 2013). Investeringen afskrives over teknologiens forventede levetid. Der oplyses om netto-investeringsbehovet ved implementering af miljøteknologien, herunder pr. DE.

Driftsomkostninger

Driftsomkostninger omfatter alle meromkostninger, der direkte relaterer sig til anvendelsen af den enkelte teknologi, herunder energi, vandforbrug, vedligeholdelse, arbejdskraft, mv.

Det skal bemærkes, at det i nærværende rapport er valgt ikke at inddrage evt. udbyttestigninger i afgrøder, som følge af et højere N indhold i gyllen end normtallene angiver. Derimod værdisættes

den sparede kvælstofudledning som sparet indkøb af handelsgødning og er værdisat med 2014-prisen på kvælstof (8,00 kr./kg, mod 8,45 kr/kg. i 2013). Dette er valgt for at ensrette udregninger for stald- og markteknologier. Anvendelsen af svovlsyre ved gylleforsuring og i luftrensingsanlæg, baseret på syre, medfører en berigelse af gyllen med svovl som kan erstatte svovl i handelsgødning. Ved gylleforsuring overstiger den tilsatte mængde svovl til gyllen planternes behov i marken. Ifølge Landbrug og Fødevarer kan der regnes med, at omkostningerne til svovlgødskning efter norm i svinebrug andrager ca. 45 kr./ha og i kvægbrug ca. 90 kr./ha, og således udgør den maksimale værdi af sparet svovl i handelsgødning. Disse priser er ikke ændret ift. de anvendte priser i 2013-rapporten. Det skal her bemærkes, at ved beregning af omkostningseffektivitet for Markforsuring og Tankforsuring, er det valgt at benytte et gennemsnit for svovlgødskning på både kvæg- og svinebrug. Den gennemsnitlige værdi af svovl er sat til ca. 70 kr. ha. Her er der taget højde for, at den største mængde af forsuret gylle vil blive udbragt på græsmarker. Yderligere tilførsel af svovl til marken ud over behovet betragtes i analysen som tabt.

Miljøeffektivitet

Så vidt muligt er teknologiernes miljømæssige effekt af hensyn til sammenligneligheden beregnet på et ensartet grundlag og præsenteret med samme enhed. Effekten på ammoniakemissionen er dels præsenteret som den procentvise reduktion i hhv. stald, lager og udbringning. Desuden er der foretaget en beregning af den samlede miljøeffekt i kg sparet kvælstofudledning pr. DE fra stald, lager og udbringning beregnet på grundlag af normtal for husdyrgødning 2013/2014.

Hvis en påtænkt miljøinvestering ønskes gennemført samtidig med en produktionsudvidelse, kan miljøeffekten af den påtænkte investering beregnes på grundlag af husdyrholdets størrelse efter udvidelsen, dvs.:

$$\begin{aligned} & \textit{Ammoniakemission efter udvidelse ekskl. implementeret miljøteknologi} \\ & \textit{minus} \\ & \textit{Ammoniakemission efter udvidelse inkl. implementeret miljøteknologi.} \end{aligned}$$

Omkostningseffektivitet

Omkostningseffektiviteten er opgjort som omkostningerne til at reducere udledningen af kvælstof, dvs. kr. pr. kg sparet N-udledning fra stald, lager og udbringning inkl. værdien af sparet kvælstof og evt. svovl i handelsgødning. Dette tal fremkommer ved at dele de gennemsnitlige årlige omkostninger, inkl. værdien af sparet handelsgødning, med den samlede miljøeffekt i kg sparet ammoniak-N.

Indsatsområde 3: Teknologier til reduktion af ammoniak- og lugtemission ved lagring og udbringning af husdyrgødning

Adjunkt Tavs Nyord og seniorforsker Berit Hasler

I det følgende gives en oversigt over de teknologier, der kan anvendes til at reducere ammoniak- og lugtemissionen i forbindelse med lagring og udbringning af husdyrgødning fra svine- og kvægstalde. Lagring er medtaget, da det har indflydelse på tabet under udbringning.

Fast overdækning af gyllebeholder

Ifølge Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1695 af 19. december 2006 ”Bekendtgørelse om husdyrbrug og dyrehold for mere end 3 dyreenheder, husdyrgødning, ensilage m.v.” med senere ændringer skal beholdere for flydende husdyrgødning være forsynet med fast overdækning. Lovgivningen giver dog mulighed for at etablere anden overdækning. Overdækning af gyllebeholdere er stillet som lovkrav for at reducere ammoniak- og lugtemissionen.

Beholdere for flydende husdyrgødning skal dog altid forsynes med fast overdækning i form af flydedug, teltoverdækning eller lignende, hvis de etableres helt eller delvist inden for eller med en afstand på mindre end 300 m fra anlægget til de naturtyper, der er anført i § 7 i Lov om miljøgodkendelse m.v. af husdyrbrug. Undtaget herfor er beholdere, såfremt der er foretaget ammoniakreducerende tiltag (f.eks. syretilsætning).

Et tæt flydelag eller låg på gyllen vil opfylde kravet om overdækning. Nogle former for gylle danner naturligt et tæt flydelag, og her er yderligere overdækning ikke nødvendig. I andre tilfælde vil etablering af flydelag være nødvendigt.

Tæt overdækning i form af naturligt flydelag kan erstatte fast overdækning, såfremt der føres logbog. Logbogen skal sikre, at der er tilstrækkeligt flydelag på beholderen, til at det kan betragtes som tæt overdækning. Lovgivningen giver hermed to muligheder:

1. Tæt overdækning i form af naturligt flydelag, halm, letklinker (leca) eller lignende.
2. Fast overdækning i form af flydedug, teltoverdækning eller lignende.

Det er under danske forhold fundet, at fast overdækning af gyllebeholdere vil reducere ammoniakemissionen (Tabel 3).

Tabel 3. Emissionsfaktorer for ammoniak fra gyllelagre med eller uden overdækning. Emissionen er vist som tab af ammoniak (NH₃) i procent af indholdet af henholdsvis total-N og TAN ab stald.

	Svinegylle		Kvæggylle	
	Total-N	TAN ¹⁾	Total-N	TAN ¹⁾
Intet flydelag	9	11,4	6	10,3
Naturligt flydelag	2	2,5	2	3,4
Teltoverdækning, betondæk eller flydedug	1	1,3	1	1,7

Kilde: Hansen *et al.* (2008) og Miljøstyrelsen (2010b). ¹⁾ Emissionsfaktoren for TAN (= total ammoniumnitrogen) er beregnet.

Ifølge Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2010b) findes der i Danmark ca. 1500 gylletanke, som har monteret teltoverdækning, og meget få gylletanke med betondæk. Betondæk er hovedsageligt monteret på tanke under 500 m³. Fast overdækning kan anvendes på alle beholdere, som er dimensioneret til lastpåvirkning fra teltoverdækning og /eller betondæk. En nærmere beskrivelse af teknikker til overdækning af gyllebeholder kan findes i Hansen (2014).

Teltoverdækning

Der er kun inkluderet beregninger for teltoverdækning, da betondæk vurderes at være en urealistisk dyr miljøteknologi og flydedug ikke er særlig udbredt. Omkostningen til teltoverdækning varierer kun lidt mellem de forskellige producenter og forhandlere. Der er taget udgangspunkt i en gennemsnitspris. Der er tillagt omkostninger til vedligehold samt en meromkostning til udbringning, da teltoverdækningen besværliggør tømning af gyllebeholderen. Til gengæld spares en omkostning til at etablere flydelag på anden vis (fx halm), da svinegylle ikke naturligt danner flydelag. Samtidig forhindrer overdækningen regnvandet i at havne i tanken, hvilket giver en besparelse på udkørsel af gylle.

Skal der påsættes teltoverdækning på en eksisterende gylletank kræves det, at tanken først skal tømmes og renses. Denne omkostning er anslået til ca. 15.000 kr. for en tankstørrelse på ca. 2.000 m³. Denne ekstraomkostning indgår ikke i nedenstående beregninger i Tabel 4, men bør tillægges, hvis der er tale om en eksisterende tank.

Reduktionsomkostningerne for slagtesvin er beregnet i forhold til drænet gulv. Reduktionsomkostningerne vil være noget lavere for faste gulve, men dette skyldes at gulvtypen i sig selv reducerer emissionen af ammoniak langt mere end selve overdækningen.

Tabel 4. Skøn over økonomiske konsekvenser ved anvendelse af teltoverdækning.

Antal DE	Slagtesvin		
	75	250	950
Samlede meromkostninger pr. kg N reduceret inkl. værdi af sparet handelsgødning ved teltoverdækning	132	58	54

Kilde: Genberegning baseret på Miljøstyrelsen (2010b).

Overdækning formodes også at begrænse udledningen af drivhusgasser, men dette er ikke kvantificeret. Ligeledes giver overdækning anledning til reducerede lugtgener. Dette har dog ikke været muligt at prissætte, idet generne i høj grad afhænger af den konkrete lokalisering.

Udbringning af husdyrgødning

I forbindelse med udbringning af gylle og fast gødning, kan der ske en betydelig emission af ammoniak og lugt. Emissionerne er afhængige af gødningstype, klimatiske forhold, udbringningstidspunkt samt håndterings- og udbringningsteknologi. Emissionerne afhænger endvidere af gødningens fysiske og kemiske sammensætning og af gødningens kontakt med atmosfærisk luft efter udbringningen. Emissionerne kan derfor begrænses ved at ændre gødningens sammensætning, fysisk/kemiske egenskaber samt ved at benytte optimal udbringningsteknologi. Udbringning i bånd (slæbeslangeudlægning) og specielt indarbejdning i jorden (nedfældning) begrænses emissionerne, men kan samtidig have uheldige bivirkninger i form af højere energiforbrug, lav udbringningskapacitet, skader på afgrøde og højere potentiale for drivhusgasemission i form af øget lattergas emission. Derfor er de senere år udviklet metode, som ændre gyllens kemiske egenskaber ved til tilsætte syre for at sænke gyllens pH.

Over 90% af gødningen fra danske husdyr håndteres som gylle ved udbringning. I det følgende vil der derfor primært blive fokuseret på udbringning af gylle og ikke fast møg.

Ca. 85% af den ubehandlede svinegylle udbringes i dag med slæbeslanger, mens den resterende mængde nedfældes. For kvæggylle vurderes det, at kun ca. 70 % af gyllen overfladeudbringes, mens resten nedfældes enten på græs eller sortjord. Per juni 2014 er der mere end 100 SyreN markforsuringssystemer i drift i Danmark, samt 40-50 gylleomrører med mulighed for at udføre tankforsuring i forbindelse med omrøring af gylletanke (Personlig meddelelse fra Morten Toft, Biocover A/S, Veerst Skovvej 6, 6600 Vejen, Tlf: 29634936; www.harso.dk ; www.oerum-smeden.dk/). Da kapaciteten på disse systemer er relativt stor, vurderer fra Videncentret for Landbrugs side, at der i 2014 forsures omtrent 15 % af alt gylle i DK (Personlig meddelelse fra Annette Vibe Vestergaard, specialkonsulent, Videncentret for Landbrug, Planteproduktion, Agro Food Park 15, 8200 Aarhus N, Tlf: 51195546; www.vfl.dk). Dette er årsagen til, at der i 2014 nedfældes mindre gylle end i årene omkring 2010. Nedenfor beskrives tank- og markforsuring af gylle, da disse to teknologier begge opfattes som "udbringningsteknologier". Ligeledes beskrives græsnedfældning, da denne teknologi sidestilles med mark- og tankforsuring.

Effekt af forsuring i stalden bliver senere beskrevet under indsatsområde 5, og her skal det kun tilføjes, at der i 2010 blev gennemført en stor undersøgelse for at belyse effekten af staldforsuring på ammoniaktabet ved udbringning. På baggrund af denne og en nylig Dansk-Tysk undersøgelse,

er emissionskoefficienterne for tab af N ved udbringning af gylle for de forskellige teknologier blevet opdateret.

Nedfældning af gylle på græsmarker

Ammoniakemission

Nedfældning begrænser emission af ammoniak fra den udbragte gylle i forhold til slæbeslangeudlægning. Begrænsningen afhænger af den benyttede teknik, og i hvor høj grad gyllen indarbejdes i jorden. Hvis gyllen ikke dækkes helt med jord under udbringningen, kan emissionen af ammoniak forløbe over lang periode på op til 3-10 døgn. Nedfældning af gylle i græsmarker sker næsten udelukkende med skiveskærnedfældere. Derfor tager beregningerne i denne rapport udgangspunkt i denne type nedfældere. Gylleudbringning med slæbesko er ikke medtaget her, da denne udbringningsform ikke kan betegnes som en nedfælder pga. at ikke hele gyllevolumet placeres under jordoverfladen. Den gennemsnitlige ammoniakemission fra gylle, udbragt med henholdsvis slæbeslanger og nedfældning, er vist i Tabel 5.

Tabel 5. Gennemsnitlig emission af ammoniak fra gylle udbragt i foråret til slætgræs med henholdsvis slæbeslanger og nedfældning. Alle emissionskoefficienter er opgivet i % af den totale mængde kvælstof (total N) udbragt og er baseret på værdier fra Alfam modellen (Hansen *et al.*, 2008). Tallene, vist i tabellen, er et gennemsnit af emissionskoefficienterne for udbragt gylle i februar, marts og april måned.

NH ₃ tab, % af udbragt total N	
Slangeudlagt	15,4
Nedfældning i vintersæd	9,2*

*40 % reduktion i forhold til slæbeslanger (Nyord *et al.*, 2013; Seidel *et al.*, 2013)

Lugt

Den lugtreducerende effekt af gyllenedfældning er blevet undersøgt i danske og udenlandske undersøgelser. Disse undersøgelser viser samstemmende, at nedfældning effektivt kan begrænse lugten af udbragt gylle i forhold til slæbeslangeudbringning (Nyord & Hansen, 2008; Nyord *et al.*, 2010; Hanna *et al.*, 2000; Moseley *et al.*, 1998). Med den teknik, der er til rådighed i øjeblikket, vil der ved nedfældning i slætgræs normalt ske en så overlig placering af gyllen, at lugtreduktionen bliver mindre end i de ovenstående undersøgelser. Dette betyder, at nedfældning i græs har en lavere effekt på lugtgenen af gylleudbringningen end eksempelvis sortjordsnedfældning. Men dog begrænses lugten markant og nedfældning er uden tvivl den teknologi der reducerer lugten fra udbragt gylle mest.

Drivhusgasser

Idet nedfældning af gylle begrænser emissionen af ammoniak vil nedfældningen isoleret set begrænse den indirekte emission af drivhusgassen lattergas (Olesen *et al.*, 2004). Nedfældningen betyder dog samtidig, at gyllen placeres i et bånd, som fremmer forholdene for de biokemiske processer, der kan føre til produktion og dermed en direkte emissions af lattergas. Dette betyder, at

nedfældning samlet set øger risikoen for emission af lattergas fra landbrugsjord. En række undersøgelser har således vist, at udledningen af lattergas fra nedfældet gylle ofte er højere end fra overfladeudbragt gylle. I en undersøgelse, gennemført af Rodhe *et al.* (2006), blev det fundet, at udledningen af lattergas fra græs jord, tilført slæbeslangeudlagt gylle, udgjorde 0,2 kg N₂O-N per ha, og at nedfældning af gylle øgede udledningen af lattergas til 0,75 kg N₂O-N per ha. Tilsvarende resultater er fundet af Wulf *et al.* (2002), idet nedfældning af gylle til henholdsvis ubevokset jord og græsafgrøde øgede lattergasemissionen med en faktor på henholdsvis 2 og 3 sammenlignet med overfladeudlægning. Chadwick (1997) fandt, at nedfældning øgede lattergasemissionen signifikant fra 0,03 til 0,08 kg N₂O-N per ha. En dansk undersøgelse, foretaget på lerjord, har også vist en stigning i lattergas-emissionen (Thomsen *et al.*, 2010). I et toårigt forsøg blev der det ene år fundet en øget lattergas-emission fra nedfældet gylle i forhold til slæbeslangeudlagt gylle (fra 0,49 til 1,86 kg N₂O-N per ha), mens der i det andet år ikke blev fundet nogen signifikant forskel.

Det formodes dog, at lattergas-emissionen under danske forhold generelt ikke er så stor, da en stor del af landbrugsjordene er sandjorde med relativt lille vandholdende evne og høj porøsitet. I den forbindelse skal det nævnes, at så vidt vides er der ikke udført langtidsstudier af lattergas-emissionen efter nedfældning af gylle på sandede jorde. På den baggrund er det valgt ikke at tage den øgede lattergasemission med som parameter i udregning af de miljøøkonomiske omkostninger, da dette ville kræve en samfundsøkonomisk beregning. Til en samfundsøkonomisk beregning skal der anvendes velfærdsøkonomiske beregningspriser og da der som nævnt i indledningen, udelukkende er beregnet driftsøkonomiske konsekvenser i denne rapport, er en samfundsøkonomisk beregning ikke mulig.

Energiforbrug

Trækkraftforbruget ved nedfældning er højere end ved slangeudlægning, da en tand eller et skær skal trækkes gennem jorden. Det større trækkraftbehov øger brændstofforbruget, og Hansen *et al.* (2003) målte, at øverlig nedfældning i græs afhængig af nedfældningsteknik øgede dieselforbruget med mellem 2 og 5 liter pr. ha, hvilket svarer til en øgning af dieselforbruget på mellem 0,1 og 0,2 liter per tons gylle udbragt. Høy (2009) målte et ekstra trækkraftbehov på 1,4-1,8 kW pr. tand ved nedfældning i vintersæd med en smal tand i ca. 10 cm dybde i forhold til slangeudlægning, hvilket vurderes at svare til 7,5 kW ekstra motoreffekt per tons gylle udbragt.

Driftsomkostninger

Danske Maskinstationer og Entreprenører, DME, har anslået en merpris på nedfældning med en 12 m græsnedfælder, i forhold til slangeudlægning, ved normal doseringsmængde (30-40 tons/ha), på 3-5 kr. pr. ton gylle i slætgræs. I det følgende er der regnet med en ekstraomkostning på 4 kr./ton

gylle ved nedfældning set i forhold til slangeudlægning. Se i øvrigt Bilag 2, for yderligere information om forudsætninger for udregning af omkostningseffektiviteten.

For at ensrette udregninger for stald- og markteknologi, er den kvælstof, der ikke fordamper, som følge af lavere emissionskoefficient ved græsnedfældning end slæbeslangeudbringning, værdisat med prisen for indkøbt kvælstof anno 2014. Dette er et bevidst valg, selvom det ikke stemmer helt overens med virkeligheden, da kvælstoffet normalt ikke substituerer indkøbt handelsgødning, men snarere vil resultere i et merudbytte i marken.

Omkostningseffektivitet for nedfældning i slætgræs

Gylleudbringning med en 12 m bred skiveskærnedfælder øger afgrødeskaden set i forhold til gylleudbringning med en 24 m bred slæbeslangebom (Jørgensen *et al.* 2009). Den største effekt er fundet ved gylleudbringning i det tidlige forår før første slæt. Green *et al.* (2010) har fundet et tab der svarer til ca. 175 Fe/ha ved gyllekørsel før første slet. I det følgende er der regnet med et udbyttetab, som følge af ekstra færdsel i marken, på 200 Fe/år.

Hvis gyllen blev bragt ud med slæbeslanger på slætgræs, vurderes det samlede tab af N at blive ca. 20 kg/ha/år. Dette reduceres til 12 kg/ha/år ved at benytte græsnedfældning og altså en reduktion på 8 kg N/ha/år. Hvis det forudsættes, at en nedfælder benyttes til udbringning af 30.000 ton gylle/år, og der i gennemsnit udbringes 30 ton/ha/år (her antages det at tildelinger af gylle på slætgræs kan ske flere gange på samme mark/år), vil brugen af sådan en nedfælder bevirke en reduceret ammoniakemission på i alt 3720kg/N/år. Dermed kan det udregnes, at med meromkostning forbundet med nedfældning, fratrukket gødningsværdien svarende til 201.009 kr./år, vil omkostningseffektiviteten blive 54 kr./kg sparet N, se Tabel 6.

Tabel 6. Beregning af omkostningseffektivitet for 12 m græsnedfælder

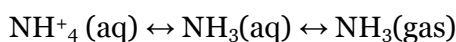
	Kr./år
Meromkostning forbundet med brug af 12 m græsnedfælder	120.000
Udbyttetab	110.769
Værdi af sparet N	29.760
Omkostningseffektivitet, kr./kg N, inkl. værdi af sparet N	54

Ud over de ovennævnte effekter giver nedfældning reducerede lugtgener. Det er ikke muligt at pris-sætte disse lugtgener, primært fordi de i høj grad afhænger af lokale forhold. Ligeså er den potentielt øgede lattergasemission ikke medtaget i disse beregninger som tidligere nævnt. Det øgede traktormotor effektbehov i forbindelse med nedfældning er en del af prisforskellen på 4 kr./ton udbragt gylle og skal derfor ikke medregnes særskilt.

Forsuring af gylle

Ammoniakemission

Normalt forefindes mellem 50 og 85% af kvælstofindholdet i gylle på ammoniumform (NH_4^+). Ammonium vil normalt forefindes på vandig opløsning (NH_4^+) (aq), som vil stå i kemisk ligevægt med ammoniakindholdet i opløsning (NH_3)(aq) og ammoniakindholdet på gasform (NH_3)(gas).



Højere pH forskyder ligevægten mod højre, hvilket kan føre til et betydeligt ammoniaktab i situationer, hvor ammoniakgassen kan diffundere væk, som eksempelvis i forbindelse med gyllens udbringning, hvor gyllens overfladeareal væsentligt forøges. Et lavt pH i gyllen vil derimod forskyde ligevægten mod venstre, hvilket sikrer, at hovedparten af gyllens kvælstofindhold forbliver på ammoniumform, der ikke tabes i forbindelse med gyllens udbringning. Målet med forsuring er at sænke gyllens pH for at reducere NH_3 emissionen.

Forsuring af gylle ved udbringning kan ske på to måder: 1) tildele svovlsyre i lagertanken umiddelbart før udbringning, således at gyllens pH er 6,0 eller lavere (herefter benævnt tankforsuring) eller 2) forsuring i forbindelse med udbringning, hvor svovlsyren tilsættes gyllen direkte ude på gyllevognen, så pH sænkes til 6,4 eller lavere (herefter benævnt markforsuring). pH grænseværdierne for de to forsuringsmetoder er fastlagt af Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2011d). For begge teknikker gælder, at det er muligt at tilpasse syretildeling til netop den type gylle som teknikken anvendes til. Det vil sige at syreforbruget per kubikmeter gylle vil variere efter gylletype. Det vil også sige at begge teknikker i princippet kan forsure gyllen til præcis det pH niveau, som man ønsker. I det følgende er der regnet med at pH sænkes til 6,4 eller lavere ved markforsuring og 5,5 (som stiger til maksimalt 6,0 ved efterfølgende lagring) ved tankforsuring. Der findes en publikation, der beskriver effekten på emission af ammoniak ved markforsuring (Nyord *et al.*, 2013), men ingen der beskriver effekten ved tankforsuring. Når den alligevel medtages på denne liste skyldes det, at effekten på ammoniaktabet i marken ved at sænke gyllens pH til 6,0 eller lavere er veldokumenteret. Det vil sige, at det "kun" bør dokumenteres, at gylle har en pH på 6,0 eller lavere ved udbringning. Det er blevet undersøgt af AgroTech, hvorvidt pH ændres i gylletanken efter tilsætning af svovlsyre til pH <6,0. I denne undersøgelse var konklusionen klar, at sænkes pH til under 6,0 og hvis der ikke tilsættes "frisk" gylle, da vil pH være stabil i minimum 3 uger (AgroTech, 2012). For at reducere risikoen for at pH stiger i lagringsperioden, har Miljøstyrelsen besluttet, at hvis gylle forsures i lagertanken, skal gyllens pH sænkes til maksimum 5,5. Denne beslutning er truffet, da det har vist sig, at hvis der ikke tilsættes frisk gylle, vil pH i langt de fleste tilfælde ikke stige til over 6,0 - selv ikke ved en efterfølgende lang lagringsperiode.

En tredje forsøringsmetode er staldforsuring, som bliver beskrevet under indsatsområde 5. Gylle-forsuring ved denne metode påvirker også ammoniaktabet ved udbringning. I de følgende udregninger er det forudsat, at staldforsuret gylle har en pH på ca. 5,7-5,9, når den forlader stalden og ca. pH 6,1-6,3 ved udbringning.

I 2010 gennemførte Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, en række forsøg til at belyse effekten af forsuring på tabet af ammoniak ved udbringning af gylle. Her blev det fundet, at ved at forsure gyllen til pH 6,4 eller lavere ved udbringning i marken blev ammoniakemissionen reduceret med ca. 65% i forhold til ubehandlet gylle (Nyord et al., 2013). Der blev ikke påvist nogen signifikant forskel mellem markforsuring og staldforsuring, men det skal nævnes her, at der i gennemsnit blev brugt 2,4 l koncentreret svovlsyre per ton gylle ved markforsuring og 3,3 l per ton gylle ved staldforsuring (Nyord *et al.*, 2013). Kai *et al.* (2008) viste, at ammoniaktabet ved udbragt staldforsuret gylle var ca. 67% lavere end ubehandlet gylle. Det skal dog bemærkes, at man i undersøgelsen fandt op til 50% ammoniaktab af den tilførte mængde ammonium-N ved udbringning af ubehandlet gylle. Dette er et meget stort tab ved udbringning af gylle i vintersæd. Dette store tab skyldes sandsynligvis særlige vejromstændigheder på forsøgsdagen. Jo større ammoniaktab fra referencegyllen, desto større potentiale for at reducere tabet vil der være ved forsuring. I emissionsforsøgene fra 2010 var gennemsnittet af ammoniaktabet fra referencegylle, udbragt i vintersæd, ca. 25% af tilført ammonium-N. En Farmtest gennemført af Videncentret for Landbrug (Jensen, 2011) fandt, at syreforbruget ved staldforsuring på 15 kvægbrug i gennemsnit var 8 kg/ton gylle = 4,4 L syre/ton gylle. Ved forsuring af svinegylle har forbruget vist sig at være helt op til 7 L syre/ton gylle (upublicerede data). Da det må formodes, at syreforbruget ved tankforsuring er nærmest identisk med staldforsuring, regnes der i det følgende med 4,5 L syre/ton gylle. Dette skal ses som en slags gennemsnit for kvæg, svin og minkgylle, men det skal bemærkes, at langt det meste gylle der tankforsures i Danmark er kvæggylle, hvorfor man kunne argumentere for at et syreforbrug på 4,5 L ton gylle er mere end der vil blive brugt ude på bedrifterne. Dette bør tages i betragtning når an-søgningerne behandles.

I det følgende er der regnet med at tankforsuring reducerer ammoniaktabet ved udbringning med 50% i forhold til ubehandlet gylle. Det er forudsat at udbringning af markforsuret gylle, medfører en reduktion af ammoniaktabet med 40 %, Tabel 7. Forskellen på de to forsøringsmetoder kan henføres til forskelle i anvendt mængde syre/ton gylle ved de to teknologier. Særligt vil ammoniaktabet formodentligt reduceres mere ved udbringning af tankforsuret end markforsuret gylle, i perioder hvor emissionen af ammoniak forløber over relativ lang tid, da den øgede syremængde vil sænke pH i gylle-jord blandingen der henlægger på jordoverfladen.

Tabel 7. Gennemsnitlig emission af ammoniak ved udbringning af forsuret og ubehandlet gylle. Alle emissionskoefficienter er baseret på værdier fra Alfam modellen (Hansen et al., 2008). Tallene i tabellen er et gennemsnit af emissionskoefficienterne for februar, marts og april måned.

NH₃ tab ved udbringning af gylle	(% af udbragt total N)
Slangeudlagt ubehandlet gylle	15,4
Tankforsuret gylle	7,7
Markforsuret gylle	9,2

Lugt

Der er ikke mange undersøgelser der beskæftiger sig med lugt fra forsuret gylle. Der er dog målt lugtkoncentration i svinestalde, hvor der blev foretaget forsuring af gyllen. To afprøvninger har således vist at forsuring ingen effekt havde på lugtkoncentrationen i stalden på trods af at ammoniakkoncentrationen i staldluften blev reduceret markant (Pedersen, 2004; Pedersen, 2007). Samme resultat blev fundet i en undersøgelse udført af Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet, i 2013 (Nyord et al., 2013). Her blev der målt lugt efter markforsuret kvæggylle blev bragt ud på græs, og man fandt at markforsuring ikke påvirker lugten betydeligt, det vil sige at lugtgenerne for naboer til marker hvorpå der spredes gylle, hverken øges eller reduceres som følge af forsuringen. Det vurderes, at dette også gælder for tankforsuring.

Drivhusgasser

I 2010 gennemførte Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, et forsøg hvor effekten på drivhusgasudledningen fra overfladeudbragt forsuret gylle blev sammenlignet med ubehandlet forsuret gylle. Den endelige databearbejdning er endnu ikke udført, men de foreløbige resultater tyder på at der ingen effekt er af forsuring.

Energiforbrug

Det vurderes at energiforbruget ikke øges nævneværdigt ved forsuring i lagertanken eller i forbindelse med udbringning, i forhold til traditionel gylleudbringning. Dog skal det nævnes, at energiforbruget ved produktion af svovlsyre er relativt højt.

Driftsomkostninger

Erfaringerne med både mark- og tankforsuring er begrænsede, da teknologierne stadig er af nyere dato. Derfor skal beregningerne af driftsomkostninger og derved miljøeffektivitet tages med store forbehold.

Syreforbruget ved markforsuring er i de følgende beregninger sat til 2 L/ton gylle til forsuring til pH 6,4 eller lavere. Dette vil naturligvis variere alt efter, hvilken gylle der er tale om, men erfaringer fra de to første år med systemet i drift, har været, at bruges der 1-2 L syre/ton gylle, vil pH som oftest være under 6,4 (Morten Toft, Biocover A/S, Veerst Skovvej 6, 6600 Vejen, Mobil 29 63 49 36, E-mail mt@biocover.dk, personlig meddelelse, 2012). Det skal dog understreges, at der så vidt

vides endnu ikke findes uafhængige opgørelser af syreforbruget pr. ton gylle. Indtil videre er der kun publiceret resultater fra et forsøg, hvor NH₃ emissionen efter udbringning af markforsuret gylle er målt (Nyord *et al.*, 2013). Som tidligere angivet resulterede dette forsøg i en reduktion på ca. 65 % i forhold til udbringning af ubehandlet gylle. Syreforbruget i dette forsøg var noget højere end de 0,5-1,5 L syre/ton gylle, som er det forbrug, der tilsyneladende anvendes i praksis. Derfor bliver der i det følgende regnet med et syreforbrug på 2 L koncentreret svovlsyre/ton gylle ved markforsuring. Dette syreforbrug er dog stadig mindre end fundet i Nyord *et al.* (2013), og derfor vil der i det følgende blive regnet med en reduktion i NH₃ emissionen ved udbringning af gylle med et markforsuringssystem, på 40 % af tabet ved udbringning af ubehandlet gylle. Disse antagelser understøttes af (Seidel *et al.*, 2013) og endnu upublicerede data fra forsøg i Danmark og Tyskland, som Aarhus Universitet og Christian-Albrechts-Universität zu Kiel foretager i fællesskab.

Som tidligere skrevet, forudsættes det i disse beregninger, at der anvendes 4,5 L syre/ton gylle ved tankforsuring. Dette gælder for begge de to fabrikater af tankforsuring der så vidt vides er på det danske marked, nemlig Harsø 10" gylleomrører med tankforsuring og Ørum TF 12.

For at udregne omkostninger pr. kg. reduceret N, omregnes den procentvise reduktion til kg N/ha som er angivet i Tabel 8. Det forudsættes, at en gyllevogn udbringer 60.000 ton gylle/år, og at der i gennemsnit for alle kombinationer af afgrøder og gylletyper udbringes i gennemsnit 30 ton gylle/ha/år.

Tabel 8. Reduceret ammoniakemission ved forsuring af gylle i forbindelse med udbringning af 60.000 ton gylle. Emissionskoefficienterne er angivet i Tabel 7.

Svinebedrift	
Slæbeslangeudbringning	
Emissionskoefficienter (tab i kg/ha)	15,4 (20)
Markforsuring	
Emissionskoefficienter (tab i kg/ha)	9,4 (12)
Reduceret emission i kg/ha	7,8
Tankforsuring	
Emissionskoefficienter (tab i kg/ha)	7,7 (10)
Reduceret emission i kg/ha	10

Omkostningseffektivitet for forsuring af gylle i lager og under udbringning

Omkostningseffektiviteten for de to systemer, er beregnet som beskrevet nedenfor og i Tabel 1.25.

Markforsuring

Hvis gyllen bringes ud med slæbeslanger, vurderes det samlede tab af N at blive ca. 20 kg/ha/år. Dette reduceres til 12 kg/ha/år ved at benytte markforsuring og altså en reduktion på 8 kg N/ha/år. Hvis det forudsættes, at markforsuring kan benyttes til udbringning af 60.000 ton gyl-

le/år, og der i gennemsnit udbringes 30 ton/ha/år, vil brug af markforsuring bevirke en reduceret ammoniakemission på i alt 11.700 kg N/år. Dermed kan det udregnes, at meromkostning forbundet med markforsuring, fratrukket gødningsværdien, er 235.634 kr./år, se Tabel 9. Dermed bliver omkostningseffektiviteten 20 kr./kg sparet N.

Tankforsuring

Hvis gyllen bringes ud med slæbeslanger, vurderes det samlede tab af N at blive ca. 20 kg/ha/år. Dette reduceres til 10 kg/ha/år ved at benytte tankforsuring og altså en reduktion på 10 kg N/ha/år. Hvis det forudsættes, at tankforsuring kan benyttes til udbringning af 60.000 ton gylle/år, og der i gennemsnit udbringes 30 ton/ha/år, vil brug af markforsuring bevirke en reduceret ammoniakemission på i alt 15.015 kg N/år. Dermed kan det udregnes, at meromkostning forbundet med tankforsuring, fratrukket gødningsværdien, er 596.093kr./år, se Tabel 9. Dermed bliver omkostningseffektiviteten 39,7 kr./kg sparet N.

Tabel 9. Beregning af omkostningseffektivitet for mark- og tankforsuring. Meromkostning fratrukket gødningsværdien kr./år er beregnet som en forskel til udbringning af ubehandlet gylle udbragt med 24 m slæbeslangebom.

	Markforsuring (kr./år)	Tankforsuring (kr./år)
Investering	521.000	510.000
Ekstra vedligehold	30.000	0
Ekstra tidsforbrug	9.600	3.851
Omkostninger til syre	339.120	763.020
Værdi af sparet N og S	198.600	225.120
Kg sparet N, kg/år	11.700	15.015
Meromkostning fratrukket gødningsværdien, kr./år	235.634	596.093
Omkostningseffektivitet, kr./kg N, inkl. værdi af sparet N	20	39,7

Indsatsområde 5: Etablering af miljøvenlige produktionsanlæg til kvæg- og svinebrug med henblik på emission af lugt og ammoniak- samt energiforbrug

Post doc Michael Jørgen Hansen, sektionsleder Hanne Damgaard Poulsen, seniorforsker Peter Lund og seniorforsker Berit Hasler

Ved etablering af miljøvenlige produktionsanlæg er der en række teknologier, som kan tages i anvendelse til at reducere emissionen af ammoniak og lugt samt til at nedbringe energiforbruget. Der kan endvidere opnås synergi ved at kombinere flere teknologier, således at den samlede miljøeffekt bliver større eller således at både emissionen af ammoniak og lugt reduceres samtidig med at energiforbruget reduceres. I det følgende er der en oversigt over de stald og fodringsteknologier, der kan anvendes til at reducere ammoniak- og lugtemissionen fra svine- og kvægstalde samt energibesparende teknologier.

Kemisk og biologisk luftrensning

Overordnet set er der to typer af luftrensere til stalde, kemisk og biologisk luftrensning. Kemisk luftrensning er baseret på en renseproces, hvor ventilationsluften ledes igennem en filtermatrice, der konstant overrisles med en syreopløsning, typisk fortyndet svovlsyre (Miljøstyrelsen, 2009a). Derved opsamles luftens indhold af ammoniak og støv fra luften. Luftens passage gennem filteret kan finde sted enten efter tværstrøms- eller modstrømsprincippet. Filtermatricen skaber en passende væskeoverflade, som er nødvendigt for massetransporten af ammoniak fra luften til væsken. Den lave pH-værdi af væsken medfører, at den absorberede ammoniak omdannes til ammonium (NH_4^+), der ikke fordamper.

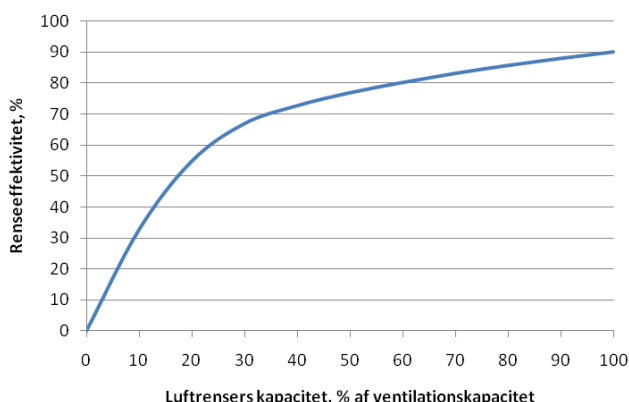
Ved biologisk luftrensning ledes ventilationsluften gennem et filtermateriale med en stor overflade, hvorpå en biofilm bestående af mikroorganismer omsætter ammoniak og lugtstoffer i staldluften (Miljøstyrelsen, 2011a). Der findes forskellige typer af biologiske luftrensere, men den mest udbredte er den biologiske luftvasker, hvor filtermaterialet overrisles med recirkuleret vand. Af hensyn til at opretholde den mikrobielle aktivitet i luftrenseren læses der med jævne mellemrum overrislingsvand og tilsættes frisk vand. Der mangler stadig kvantitativ viden om, hvad der sker med det frarensede ammoniakkvælstof i lænevandet. Forsøg har vist, at i størrelsesordenen 50% af det frarensede ammoniakkvælstof forlader luftrenseren med lænevandet i form af ammoniak/ammonium, mens den anden halvdel forlader luftrenseren i form af nitrit eller nitrat (Juhler *et al.*, 2009). Der er ligeledes stor usikkerhed om, i hvilket omfang de enkelte kvælstofforbindelser vil være at genfinde i gyllen ved udbringning og således kan forventes at have gødningsværdi. I Miljø-

styrelsens teknologiblade om biologisk luftrensning (Miljøstyrelsen, 2011a,b,c) antages det konservativt, at halvdelen af lænsevandets indhold af kvælstof kan udnyttes i marken.

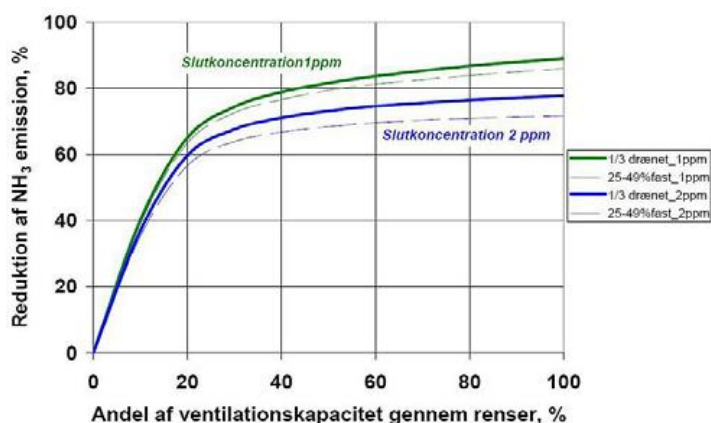
Delluftrensning

Alle husdyrstalde skal ventileres kontinuerligt året rundt; om sommeren opererer ventilationsanlægget med høj ydelse for at fjerne overskudsvarmen, mens der om vinteren, når udetemperaturen er lav, skal anvendes en betydeligt mindre luftmængde til at køle stalden sammenlignet med om sommeren. Typisk opererer ventilationsanlægget i en slagtesvinestald med drænet gulv med en ydelse på under 25% af maksimumkapaciteten cirka halvdelen af året. Dvs. at hvis man projekterer sit ventilationsanlæg så 25% af luften renses, vil al udsugningsluft blive rensed omkring halvdelen af året (Kai *et al.*, 2007). Afhængig af kravet til ammoniakreduktion, kan der derfor med fordel anvendes et luftrensningsanlæg med en lavere kapacitet end staldens ventilationsbehov. Ved delluftrensning er luftrenserens kapacitet lavere end staldens ventilationsbehov. For at opnå den største effekt, ledes staldluften igennem luftrenseren i det omfang denne har kapacitet. Først når staldens luftbehov overstiger luftrenserens kapacitet, ledes urensede luft ud i atmosfæren.

Figur 1 kan anvendes til at skønne den samlede ammoniakreduktion for en slagtesvinestald med drænet gulv ved varierende kapacitet af en kemisk luftrenser, mens Figur 2 viser sammenhængen mellem en biologisk luftrenserens kapacitet og reduktionen i ammoniakemissionen fra en slagtesvinestald med drænet gulv. Figurerne bygger på idealiserede forhold, og i praksis kan der forekomme afvigelser som følge af brug af anden ventilationstype, ventilationsstrategi og dimensionering af ventilationsanlægget, ligesom staldtypen har indflydelse på effektiviteten af den samlede ammoniakreduktion. Det må derfor anbefales, at der foretages konkrete beregninger med Staldvent til fastlæggelse af et mere præcist estimat for renseseffektiviteten i det konkrete tilfælde (Kai *et al.*, 2007).



Figur 1. Sammenhæng mellem luftrenserens kapacitet sammenlignet med staldens ventilationskapacitet og den samlede reduktion i ammoniakemission fra slagtesvinestalde med drænet gulv. Luftrenseren anvender syre til at binde ammoniakken i luften og har en effektivitet på 90% for så vidt angår den del af luften der renses.



Figur 2. Sammenhæng mellem luftrensers kapacitet sammenlignet med staldens ventilationskapacitet og den samlede reduktion i ammoniakemission fra slagtesvinestalde med henholdsvis drænet gulv og delvist fast gulv. Luftrenseren er en biologisk luftvasker, der reducerer ammoniakkoncentrationen i luften til en konstant slutkoncentration på hhv. 1 og 2 ppm for så vidt angår den del af luften der renses. Kilde: Kai et al. (2007).

Kemisk luftrensning

Der foreligger en række danske undersøgelser der dokumenterer effektiviteten af kemisk luftrensning til svinestalde. Riis (2008) afprøvede en 1-trins Bovema syre-luftrenser på afgangsluften fra en smågrisestald og fandt en renseseffektivitet på 99,7%. Den samlede reduktion i ammoniakemissionen fra stalden blev opgjort til 57%, idet luftrensersens kapacitet udgjorde 34% af staldens samlede ventilationskapacitet. Bovema-luftrenseren bliver ikke længere forhandlet i Danmark. Riis (2009) fandt en ammoniakreduktion på 92% for en kemisk luftvasker fra Scan Airclean A/S ved fuld luftrensning i en kombineret smågrise- og poltestald. Den kemiske luftvasker var opbygget af filtermoduler af fabrikatet Inno+ fra Holland og var centralt placeret i stalden. Scan Airclean a/s eksisterer ikke længere, men firmaets teknologi bliver videreført af MHJ Agroteknik A/S. I en afprøvning af en kemisk luftrenser fra Munters A/S (MAC 1.0) blev der vist en ammoniakreduktion på 87% over fire hold grise, hvilket omtrent svarer til et års drift (Jørgensen, 2014).

For en kemisk luftrenser, som kan fjerne 90% af ammoniakken i luften, kan det beregnes, at ammoniaktabet reduceres med 0,32 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 12,5 kg N pr. DE ved rensning af al ventilationsluften (100% luftrensning). Ved 60% delluftrensning kan der beregnes et sparet ammoniaktab på 0,29 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 11,1 kg N pr. DE, og ved 20% deluftrensning 0,19 kg N pr. produceret slagtesvin eller 7,6 kg N pr. DE.

Tabel 10 viser et skøn over investeringsbehov, årlig meromkostninger, miljøeffekt og omkostningseffektivitet ved brug af en decentral kemisk luftrenser med en renseseffektivitet på 90%. Decentrale luftrensere er opbygget således at de kun rensere luften fra én eller få staldsektioner og således i modsætning til centrale luftrensere ikke kræver store hovedluftkanaler for at transportere luften. Sidstnævnte type er ikke beskrevet yderligere i nærværende rapport. Beregningerne i Tabel 10 er kun gældende for slagtesvin, opstaldet i stier med 33% drænet gulv og 67% spaltegulv. Tabel 10 er

således ikke gældende for så vidt angår miljøeffekten ved brug af andre staldd typer til slagtesvin, idet stalddtypen har betydning for emissionen af ammoniak internt i stalden og dermed på mængden af ammoniak-kvælstof, som renses. Den økonomiske kalkule kan heller ikke forventes at være gældende for øvrige slagtesvinestalde med mekanisk ventilation. Det anbefales f.eks. at supplere det diffuse luftindtag med loftsventiler i stalde med delvist fast gulv, hvilket forøger omkostningerne. Øvrige typer af svin kræver således særskilt beregning af både miljøeffekt og driftsøkonomi. Det er antaget, at lænse vandet fra syrerenseren ledes til gyllebeholder. Det er antaget, at den tilledte ammoniak bidrager til en marginalt forøget emission fra lager og ved udbringning. Alternativet til denne løsning kunne være at opbevare lænse vandet i en separat beholder og bringe det ud separat, hvorved det samlede kvælstoftab ville blive mindre. Imidlertid medfører denne løsning forøgede omkostninger til separat lagring af lænse vandet, hvilket påvirker omkostningseffektiviteten negativt.

Tabel 10. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af decentral kemisk luftrensning i slagtesvinestalde med drænet gulv. Eksemplet omfatter en decentral luftrenser med en effektivitet på 90%.

Kemisk luftrensning	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
100% luftrensning						
Investering, kr./DE	4501	3738	3829	3829	3829	4331
Årlige meromkostninger, kr./DE	897	702	684	645	635	710
Kg N reduceret pr. DE	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret ¹⁾	72	56	55	52	51	57
60% luftrensning						
Investering, kr. /DE	4155	3392	2243	2243	2243	2654
Årlige meromkostninger, kr./DE	876	667	500	469	453	507
Kg N reduceret pr. DE	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret ¹⁾	79	60	45	42	41	46
20% luftrensning						
Investering, kr. /DE	2887	2077	1246	1018	953	853
Årlige meromkostninger, kr./DE	654	425	282	215	185	171
Kg N reduceret pr. DE	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret ¹⁾	86	56	37	28	24	23

¹⁾ Inklusiv værdien af sparet kvælstoftab. Kilde: Genberegning baseret på en økonomisk fremskrivning af værdier angivet i Hansen *et al.* (2012).

Biologisk luftrensning

Ammoniak

Der er gennemført en række afprøvninger af biologisk luftrensning fra SKOV A/S (Jensen & Hansen, 2006; Lyngbye & Hansen, 2008; Riis, 2010a; Riis, 2012). Den seneste afprøvning af en 3-trins biologisk luftrenser fra SKOV A/S blev gennemført over et helt år og viste at luftrenseren var i stand til at reducere ammoniakemissionen med 94% (Riis, 2012). Den biologiske 3-trins renser fra SKOV A/S var opbygget med to vertikale filtre på 15 cm og efterfølgende et vertikalt filter på 60 cm. Den primære fjernelse af ammoniak fandt sted i de to første trin. Undersøgelsen viste endvidere, at

ammoniakkoncentrationen blev reduceret til et niveau mellem 1-2 ppm i de varme sommermåneder med maksimumventilation.

I en afprøvning af en biologisk luftrensere fra Dorset Milieutechnik B.V. blev der målt en reduktion i ammoniakemissionen på 77% (Sørensen, 2011). Den biologiske luftrensere fra Dorset Milieutechnik B.V. var opbygget med et horisontalt filter på 90 cm. Afprøvningen viste ligeledes at ammoniakkoncentrationen blev reduceret til et niveau mellem 1 og 2 ppm.

Andre biologiske luftvaskere er under udvikling, men kan endnu ikke betragtes som værende klar til udbredt anvendelse. Indledende tests af disse anlæg har vist, at de er i stand til at reducere ammoniak i staldluften. Der mangler dog endnu tilstrækkelig dokumentation mht. reduktion af ammoniak mv. Anlæggene omfatter: CleanTube fra Skiold A/S (Sørensen & Riis, 2008) og VengSystem (Riis, 2010b).

For en biologisk luftrensere med en effektivitet, svarende til en konstant ammoniakkoncentration efter rensningen på 2 ppm uafhængigt af koncentrationen før rensningen, kan det beregnes at ammoniaktabet fra stald, lager og udbringning reduceres med 0,28 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 10,9 kg N pr. DE ved rensning af al ventilationsluften (100% luftrensning). For delluftrensning, hvor luftrensersens kapacitet er 60% af staldens beregnede maksimale ventilationsbehov, kan det samlede sparede ammoniaktab opgøres til 0,27 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 10,4 kg N pr. DE. Ved 20% delluftrensning kan det samlede ammoniaktab tilsvarende opgøres til 0,21 kg N pr. produceret slagtesvin eller 8,4 kg N pr. DE.

Tabel 11 viser skøn over investeringsbehov, årlig meromkostninger, miljøeffekt og omkostningseffektivitet ved anvendelse af biologisk luftrensning. Der er indarbejdet eksempler på 100% luftrensning samt henholdsvis 60% og 20% delluftrensning. Beregningerne i Tabel 11 er kun gældende for slagtesvin opstaldet i stier med 33% drænet gulv og 67% spaltegulv. Tabel 11 er således ikke gældende for så vidt angår miljøeffekten ved brug af andre staldtyper til slagtesvin, idet staldtypen har betydning for emissionen af ammoniak internt i stalden og dermed på mængden af ammoniakkvælstof som renses. Den økonomiske kalkule kan heller ikke forventes at være gældende for øvrige slagtesvinestalde med mekanisk ventilation, idet det anbefales at supplere det diffuse luftindtag med loftsventiler i stalde med delvist fast gulv, hvilket forøger omkostningerne. Øvrige typer af svin kræver således særskilt beregning af både miljøeffekt og driftsøkonomi.

Tabel 11. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af decentral biologisk luftrensning i slagtesvinestalde med drænet gulv. For forklaring af benævnelsen ”% luftrensning” henvises til afsnittet om delluftrensning. Miljøeffekten er beregnet på grundlag af effekten af teknologien på emissionerne fra stald, lager og udbringning af husdyrgødning.

Biologisk luftrensning	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
100% luftrensning						
Investering, kr./DE	4909	3610	2886	2882	2883	2887
Årlige meromkostninger, kr./DE ¹⁾	1092	837	763	734	740	736
Kg N reduceret pr. DE	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
Omkostningseffektivitet, kr. /kg. N reduceret ¹⁾	100	77	70	67	68	67
60% luftrensning						
Investering, kr. /DE	4079	2699	2166	2162	2163	2167
Årlige meromkostninger, kr./DE ¹⁾	859	634	573	546	539	534
Kg N reduceret pr. DE	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Omkostningseffektivitet, kr. /kg. N reduceret ¹⁾	82	61	55	52	52	51
20% luftrensning						
Investering, kr./DE	2929	1809	1218	1214	1215	1219
Årlige meromkostninger, kr./DE ¹⁾	696	427	302	290	287	289
Kg N reduceret pr. DE	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
Omkostningseffektivitet, kr. /kg. N reduceret ¹⁾	83	51	36	35	34	35

¹⁾Inklusiv værdien af sparet kvælstof-tab. Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra SKOV A/S i 2014.

Lugt

Biologiske luftrensere: SKOV A/S's biologiske luftrensere ”Farm Airclean BIO modul 2 trin” er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en rensningseffekt i forhold til lugt på 73% (Miljøstyrelsen, 2014). Det er anført, at opførelsen på teknologilisten er midlertidig forlænget efter særlig aftale med Miljøstyrelsen.

Andre biologiske luftrensere er under udvikling, men kan endnu ikke betragtes som værende klar til udbredt anvendelse. Indledende tests af disse anlæg har vist, at de i varierende omfang har potentiale til at reducere lugt i staldluften. Anlæggene omfatter: CleanTube fra Skiold A/S (Sørensen & Riis, 2008) og VengSystem (Riis, 2010b).

Biofiltre: Der er foretaget afprøvninger af yderligere biofiltre, der er opbygget af forskellige filtermaterialer, som har demonstreret disse filteres potentiale til lugtreduktion (Jensen *et al.*, 2005; Riis *et al.*, 2008). Ingen af disse anlæg er kommercielt tilgængelige. Det kommercielt tilgængelige BIO-REX Hartmann biofilter med træflis har i en afprøvning vist en lugtreduktion på 77% (Riis & Jensen, 2007). Der rapporteres om driftsmæssige problemer under afprøvningen, der kan have påvirket filterets effektivitet.

Punktudsugning kombineret med luftrensning

Delrensning af ventilationsluft kan yderligere optimeres, hvis luftrenseren tilsluttes et punktudsugningsanlæg med en begrænset ventilationskapacitet. Princippet ved denne fremgangsmåde er at koncentrere så stor en andel af ammoniak- og lugtemissionen i så lille en luftmængde som muligt og efterfølgende rense luften med enten en biologisk eller kemisk luftrenser. Der er gennemført en

række afprøvninger (Pedersen et al., 2010; Pedersen & Jensen, 2010, Riis et al., 2014a, Riis et al., 2014b, Jørgensen & Riis, 2014), som viser, at punktudsugning kan anvendes til at koncentrere ammoniak og lugt i en lille luftmængde (ca. 10% af maksimumventilationen), mens koncentrationen af ammoniak og lugt er lav i den resterende normale loftsudsugning. Effekten af punktudsugning er størst, når sugepunktet er placeret så tæt som muligt på grisenes lejeareal, men dette kan samtidig være med til at øge risikoen for at gylle løber ind i punktudsugningskanalen. Ved en effektiv punktudsugning kan op til 65% af ammoniakemissionen og 50% af lugtemissionen samles i punktudsugningen. Punktudsugning kombineret med luftrensning er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste (Miljøstyrelsen, 2014). I indstillingen til teknologilisten er det angivet punktudsugning i kombination med en luftrenser med en ammoniakreduktion på 90% giver en samlet effekt på 51% for stalde udformet med 33% drænet gulv og 67% spaltegulv eller 25-49% fast gulv. Punktudsugning i kombination med en luftrenser med en lugtfjernelse på 70% giver en samlet effekt på 36% for stalde udformet med 33% drænet gulv og 67% spaltegulv eller 25-49% fast gulv.

Gylleforsuring

Der er tidligere gennemført en afprøvning af gylleforsuring fra Infarm A/S og Staring Maskinfabrik A/S, hvor det blev vist at ammoniakemissionen blev reduceret med 70% (Pedersen, 2004; Pedersen, 2007). Senest er det blevet vist, at gylleforsuring fra Jørgen Hyldgård Staldservice A/S reducerer ammoniakemissionen med 71% (Pedersen & Albrechtsen, 2012). Gylleforsuring fra Infarm A/S er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste (Miljøstyrelsen, 2014) med en ammoniakreduktion på 70% i svinestalde og 50% i kvægstalde. Gylleforsuring fra Jørgen Hyldgård Staldservice A/S er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreduktion på 64% i svinestalde og 50% i kvægstalde.

Tab under lagring og udbringning

Svovlsyrebehandling af gylle i stalden reducerer ammoniakemissionen under lagring og udbringning af gylle på mark. Reduktionsgraden for lager er ikke endeligt dokumenteret, men det vurderes at ammoniaktabet fra en beholder med forsuret gylle udgør 1% af den tilførte kvælstofmængde (Kai *et al.*, 2008) svarende til en reduktion på 50% sammenlignet med gyllebeholdere med flydelag. Ammoniaktabet under og efter udbringningen er behandlet under indsatsområde 3.**Slagtesvin**

Der er regnet med en reduktion i ammoniakemissionen på 70% ved anvendelse af gylleforsuring i slagtesvinestalde med 33% drænet gulv og 67% spaltegulv. Der foreligger ingen dokumentation for effekten af forsuring af gylle i slagtesvinestalde med andre gulvtyper, herunder delvist fast gulv. I Tabel 12 er vist de forventede effekter af gylleforsuring, i slagtesvinestalde med andre gulvprofiler end drænet gulv.

Tabel 12. Forventet reduktion i ammoniakemissionen fra slagtesvinestalde ved anvendelse af gylleforsuring. Reduktioner i % sammenlignet med staldsystemer uden forsuring med henholdsvis 33% drænet gulv/67% spaltegulv, samt samme gulvprofil uden gylleforsuring.

	33% drænet gulv/67% spaltegulv	Delvist fast gulv, 25-49% fast gulv	Delvist fast gulv, 50-75% fast gulv
33% drænet gulv/67% spaltegulv + forsuring	70	-	-
Delvist fast gulv, 25-49% fast gulv + forsuring	75	68	-
Delvist fast gulv, 50-75% fast gulv + forsuring	80	-	65

Kilde: Miljøstyrelsen (2009b).

Med udgangspunkt i ovenstående kan det beregnes, at ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning andrager 10,4 kg N/DE i slagtesvinestalde med 33% drænet gulv og 67% spaltegulv svarende til en reduktion på 15,1 kg N/DE eller netto 59%. Tabel 13 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i slagtesvinestalde med drænet gulv.

Tabel 13. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i slagtesvinestalde med drænet gulv.

Slagtesvinestalde med drænet gulv	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	13667	7467	4920	2690	1913	1632
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1528	874	610	376	297	266
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	101	58	40	25	20	18

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S i 2013.

So- og smågrisestalde

Der er ikke rapporteret forsøg med gylleforsuring i hverken so- eller smågrisestalde. PH-værdien i sogylle er generelt højere end i slagtesvinegylle, hvorfor en forsuring af sogylle til pH 5,5 til 5,8 alt andet lige burde resultere i en større reduktion i ammoniakemissionen sammenlignet med slagtesvinestalde. I smågrisestalde er gyllens pH-værdi derimod generelt lavere end i slagtesvinestalde, hvorfor effekten af gylleforsuring alt andet lige burde være mindre. Til gengæld kan der være driftsmæssige forhold, som influerer på den tilsigtede effekt, herunder hygiejnen af den faste del af stigulvet. Samlet set vurderes det derfor, at de ovennævnte reduktionsprocenter kan anvendes. Ved beregningen af miljøeffekten af gylleforsuring er reduktionsprocenten ved gylleforsuring fastsat i forhold til samme staldsystem uden gylleforsuring. For løbe-/drægtighedsstalde og smågrisestalde med delvist fast gulv er der således antaget en reduktion i ammoniaktabet fra stalden på 65%.

For gylleforsuring i sostalde andrager ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning 10,7 kg N/DE fra løbe-drægtighedsstalde med delvist spaltegulv og 9,9 kg N/DE farestalde med delvist spaltegulv. Ved en vægtning på 70% fra løbe-drægtighedsstalden og 30% fra farestalden giver det en vægtet ammoniakemission på 10,4 kg N/DE fra soholdet, svarende til en vægtet reduktion på

13,0 kg N/DE eller netto 55%. Tabel 14 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i sostalde med delvist spaltegulv.

Tabel 14. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i sostalde med delvist fast gulv.

Sostalde	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	13667	7467	4920	2710	1940	1684
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1.599	944	681	448	370	342
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	123	73	52	34	28	26

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S i 2013.

For gylleforsuring i smågrisestalde med delvist spaltegulv andrager ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning 9,3 kg N/DE svarende til en reduktion på 11,4 kg N/DE eller netto 55%. Tabel 15 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i smågrisestalde.

Tabel 15. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i smågrisestalde.

Smågrisestalde	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	13667	7467	4920	2690	1927	1642
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1.647	993	730	495	417	386
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	144	87	64	43	37	34

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S i 2013.

Kvægstalde

Der regnes ligeledes fremdeles med at ammoniakemissionen fra kvægstalde med ringkanalsystem eller bagskylsanlæg med gylleforsuring reduceres med 50% sammenlignet med ingen syrebehandling (Miljøstyrelsen, 2009c). Da gylleforsuring ligeledes giver anledning til reduceret ammoniaktab under lagring på 50%, sammenlignet med gylle med flydelag (Kai *et al.*, 2008), kan det beregnes, at ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning andrager 11,3 kg N/DE (stor race) svarende til en reduktion på 7,7 kg N/DE eller 41% sammenlignet med ingen gylleforsuring. Omkostningseffektiviteten forbedres betydeligt med stigende besætningsstørrelse, Tabel 16.

Tabel 16. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i kvægstalde med spaltegulv og ringkanal (stor race) med forskellig besætningsstørrelse.

Kvægstalde	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	8667	4333	2600	1422	948	748
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1108	630	438	310	257	235
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	143	82	57	40	33	30

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S i 2013.

For lille race (Jersey) kan den på tilsvarende vis beregnes, at ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning andrager 11,3 kg NH₃-N/DE svarende til en reduktion på 7,7 kg NH₃-N/DE eller

41%. Under forudsætning af, at omkostningsniveauet er ens for stor race og jersey, er omkostningseffektiviteten af gylleforsuring i stalde med henholdsvis jersey og stor race stort set ens.

Drivhusgasser

Forsøg har vist, at der potentielt kan opnås en betydelig reduktion i emissionen af metan fra stald og lager ved forsuring af gylle. Et laboratorieforsøg har vist, at emissionen af metan fra svovlsyrebehandlet kvæggylle var næsten 90% lavere end fra den ubehandlede kontrolgylle ved målinger over 100 dage (Petersen *et al.*, 2012). Tilsvarende effekter er opnået i forsøg med gylle fra slagtesvin, som var forsuret enten i stalden med udstyr fra Jørgen Hyldgaard Staldservice, eller i gyllelager med udstyr fra Harsø A/S (Petersen og Olesen, 2011). Hansen (2008) viste ligeledes ved et laboratorieforsøg fra kvæggylle, lagret i syv uger, var 67% lavere end den ubehandlede kontrolgylle. Forsøgene peger entydigt på en meget signifikant og stabil reduktion af metanudledningen under lagring af gylle.

Gyllekøling

Gyllekøling kan anvendes i stalde med gyllekanal såvel som med mekanisk udmugning (linespil, skraber). Gyllekølingssystemet etableres ved nedstøbning af PEL-slanger i bunden af gyllekanalerne i stalden. Slangerne udlægges typisk med en afstand på 35-40 cm. I stalde med gyllesystem kan køleslangerne alternativt udlægges direkte oven på kanalbunden. Køleslangerne forbindes til en varmepumpe. Gyllekøling er mest relevant i svinebesætninger, hvor den indvundne varme kan anvendes til opvarmningsformål, hvilket typisk drejer sig om besætninger med søer og smågrise.

Ved køling vha. varmepumpe er økonomien stærkt afhængig af afsætningsmulighederne af varmeenergien. I sobesætninger kan en del af varmen fra køling af gyllen i drægtighedsstalder eksempelvis afsættes til opvarmning af farestalder (rumopvarmning og opvarmning af smågrisehuler). I slagtesvinestalde kan der derimod kun i sjældne tilfælde regnes med at være afsætningsmulighed for overskudsvarmen fra varmepumpen og da kun om vinteren.

Hvordan gyllekøling påvirker emissionen af ammoniak afhænger af stalddypen og af køleeffekten pr. m², hvorfor der ikke kan gives et entydigt tal for reduktionen. En dansk undersøgelse med køling i bunden af gyllekanalerne i en slagtesvinestald med fuldspaltegulv har vist, at ammoniakemissionen blev reduceret med ca. 10%, for hver 10 W/m² køleeffekt (Pedersen, 1997). En afprøvning af gyllekøling i en drægtighedsstald med mekanisk udmugning viste, at ved en gennemsnitlig køleeffekt på 24 W/m² blev ammoniakemissionen reduceret med 31% (Pedersen, 2005).

Reduktionen i ammoniakemissionen fra stalden afhænger af dyrearten og stalddypen såvel som af køleeffekten. Tabel 17 angiver hvor meget ammoniakkvælstof, der spares ved etablering af gylle-

køling i svinestalde. De sparede ammoniaktab er baseret på beregning af tab fra hhv. stald, lager og udbringning på grundlag af udskillelsen af total-N som anført i normtal 2013/2014.

Tabel 17. Beregnet tab af NH₃-N fra stald, lager samt sparet N-tab ved gyllekøling i svinestalde, kg N pr. DE.

	Køleeffekt, W/m ²						
	0	10		20		30	
	Samlet tab	Samlet tab	Sparet tab	Samlet tab	Sparet tab	Samlet tab	Sparet tab
Drægtighedsstalde, delv. spaltegulv, linespil	24,1	22,4	1,7	20,8	3,2	19,5	4,6
Smågrise, to-klimastalde	17,0	16,4	0,6	15,9	1,1	15,4	1,5
Slagtesvin, 25-49% fast gulv	22,6	21,5	1,1	20,6	2,0	19,7	2,9
Slagtesvin, 50-75% fast gulv	19,6	18,9	0,8	18,1	1,5	17,5	2,1

Grundlag: Normtal 2013/2014. Referencen er samme staldtype uden gyllekøling.

Tabel 18 angiver det anslåede investeringsbehov for anvendelse af gyllekøling i so-, smågrise- og slagtesvinestalde. Investeringsbehovet afhænger af staldanlæggets opbygning og af evt. tilknyttede faciliteter, der kan aftage varmen fra anlægget. Evt. tilkobling til disse er ikke indregnet i kalkulen. Anskaffelse og drift af kalorifere til udledning af evt. overskydende varme til atmosfæren er ligeledes ikke indregnet i nærværende kalkule.

Tabel 18. Anslået investeringsbehov ved etablering af gyllekøling i svinestalde, kr. pr. DE.

	Køleeffekt	Dyreenheder, DE					
	W/m ²	75	150	250	500	750	950
Drægtighedsstald, delv. spaltegulv, linespil	10	1467	933	700	550	500	474
	20	1867	1333	1000	850	733	684
	30	2000	1667	1400	900	867	737
Smågrise, to-klimastald	10	1467	933	700	500	467	421
	20	1800	1267	1000	750	600	526
	30	1867	1333	1000	850	733	684
Slagtesvin, 25-49% fast gulv/ 50-75% fast gulv	10	1667	1000	800	600	533	474
	20	1800	1267	1000	800	667	579
	30	2000	1333	1100	850	667	684

Kilde: Opdaterede investeringsomkostninger fra Klimadan A/S i 2013.

Gyllekøling er forbundet med et energiforbrug til drift af varmepumpe og cirkulationspumpe. Tabel 19 viser anslået energiforbrug og deraf følgende omkostninger til drift af gyllekøling i stalde til forskellige kategorier af grise. Energiforbruget ved gyllekøling afhænger ud over den specifikke køleeffekt pr. m² af staldtypen og er proportional med antallet af dyreenheder.

Tabel 19. Anslået energiforbrug og -omkostninger ved gyllekøling i svinestalde.

Køleeffekt, W/m ²	Energiforbrug, kWh/DE pr. år			Omkostninger til el, kr./DE pr. år		
	10	20	30	10	20	30
Slagtesvin, 25-49% fast gulv	199	399	598	110	220	330
Slagtesvin, 50-75% fast gulv	100	199	299	55	110	165
Smågrise, to-klimastald	164	327	491	90	181	271
Drægtighedsstald, delvist spaltegulv, linespil	482	964	1445	266	532	798

Kilde: Egne beregninger.

Driftsøkonomien ved gyllekøling afhænger i særdeles høj grad af mulighederne for at nyttiggøre den indvundne varmeenergi. Hvis en større andel af den indvundne varme kan udnyttes, så opnås der en større gevinst ved brug af køling. Sobesætninger kan i højere grad end slagtesvinebesætninger afsætte den indvundne varme internt i produktionsanlægget f.eks. i farestalde og smågrisestalde. Det er muligt at benytte den indvundne varme til bl.a. opvarmning i stalde, driftsbygninger, stuehus, vådfoderanlæg, vaskevand og korntøringsanlæg. Når al den indvundne varme nyttiggøres, viser analysen, at der for alle staldtyper er tale om et positivt afkast af investeringen, se Tabel 20.

Tabel 20. Gennemsnitlig omkostningseffektivitet ved gyllekøling i svinestalde, kr. pr. kg sparet ammoniakvælstof inkl. værdien af sparet N. Tal i parentes angiver intervallet for 75 – 950 DE. Negativt fortegn angiver en økonomisk gevinst.

	Drægtighedsstalde, Delv. spg, linespil			Smågrisestalde toklimastald		
	10	20	30	10	20	30
Køleeffekt, W/m ²						
100% varmeudnyttelse	-466 (-484 – -423)	-508 (-521 – -482)	-547 (-559 – -530)	-135 (-156 – -90)	-158 (-173 – -132)	-177 (-186 – -158)
0% varmeudnyttelse	193 (174 – 235)	190 (177 – 216)	195 (182 – 212)	89 (68 – 133)	79 (64 – 105)	75 (66 – 94)

	Slagtesvinestalde, 25-49% fast gulv			Slagtesvinestalde, 50-75% fast gulv		
	10	20	30	10	20	30
Køleeffekt, W/m ²						
100% varmeudnyttelse	-262 (-299 – -181)	-306 (-329 – -266)	-334 (-350 – -302)	-127 (-178 – -16)	-178 (-210 – -123)	-206 (-228 – -162)
0% varmeudnyttelse	176 (139 – 257)	150 (127 – 190)	142 (126 – 175)	174 (123 – 285)	135 (104 – 191)	122 (100 – 166)

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Klimadan A/S i 2013.

Drivhusgasser

Gyllekøling kan grundet afkølingen af gylle bidrage til en reduceret udledning af metan fra stalden og kan derved reducere drivhusgaspåvirkningen. Hilhorst *et al.* (2001) fandt, at et temperaturfald i gylle fra 20 °C til 10 °C reducerede metanemissionen med 30 - 50%. Modelberegninger af Sommer *et al.* (2003) viste tilsvarende en reduktion på 31% ved at reducere gyllens temperatur fra 15 °C om vinteren og 20 °C om sommeren til 10 °C.

Spaltegulvsskrabere

Ved skrabning af spaltegulvets overflade med enten en stationær skraber eller en robotskraber i kvægstalde kan spaltegulvets overside løbende renses for fæces og ajle, hvorved ammoniakemissionen reduceres. Der er kun lavet en enkelt måling i én ringkanalstald med spaltegulvsskraber. I *Udredningsrapport for teknologier* (Mikkelsen *et al.*, 2006) er det vurderet, at hyppig skrabning af spaltegulvet i kvægstalde reducerede ammoniaktabet med 20 pct. Senere har en arbejdsgruppe under Miljøstyrelsen udarbejdet et teknologiblad (Miljøstyrelsen, 2010a), hvori der argumenteres for, at effekten af hyppig skrabning af spaltegulvet i kvægstalde opjusteres til 25 pct. i ringkanalstalde og stalde med bagskyl samt 33 pct. i stalde med spaltegulv og gødningskanal med linespil, sammenlignet med samme staldtype uden spaltegulvsskraber. Selvom det empiriske grundlag for

en fastsættelse af miljøeffekten af spalteskrabere hviler på et spinkelt grundlag, er der i det følgende valgt at følge indstillingen fra Miljøstyrelsen. Med baggrund i nævnte antagelser kan det beregnes, at netto-miljøeffekten af hyppig skrabning af spaltegulvet i ringkanalstalde, stalde med bagskyl samt stalde med spaltegulv og gødningskanal med linespilanlæg andrager 1,9 kg N pr. DE for stor race. Teknologien er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste og kan benyttes ved ansøgning om miljøgodkendelse af husdyrproduktion. Tabel 21 angiver anslåede driftsomkostninger og økonomisk miljøeffektivitet ved etablering og drift af spaltegulvsskrabere i sengebåsestalde med spaltegulv (ringkanal, bagskyl, kanal med linespil).

Tabel 21. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af wiretrukne spaltegulvsskrabere samt robotskrabere i kvægstalde med spaltegulv i gangarealerne (ringkanal, bagskyl, samt gødningskanal og linespil).

Wiretrukne spaltegulvsskrabere	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investering, kr./DE	1312	662	449	448	448	447
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N	250	119	77	76	76	76
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N	112	53	34	34	34	34
Robotskrabere	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investering, kr./DE	1746	873	521	260	347	274
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N	221	113	70	38	49	40
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N	99	51	31	17	22	18

Kilde: Genberegning baseret på Miljøstyrelsen (2010a).

Høje skorstene

Det tidligere Danmarks Miljøundersøgelser, nu Institut for Miljøvidenskab/DCE, Aarhus Universitet, har udviklet simuleringsprogrammet OML-Multi (operationel meteorologisk luftspredningsprogram) til beregning af forureningskoncentrationer i miljøet omkring virksomheder (www.au.dk/oml). For mange staldanlæg med naboer inden for nogle hundrede meter kan udledning af den lugtende staldluft via en høj skorsten være en løsning på et lugtproblem, idet lugten vil blive fortyndet, inden den når ud til naboerne. I landbruget er der etableret ganske få skorstensløsninger. En af årsagerne er, at ventilationsluftmængderne er store sammenlignet med mange industrivirksomheder, ligesom der typisk er mange ventilationsafkast på stalde og de er typisk spredt ud over hele det bebyggede areal. Derfor vil rørsystemer ofte være ret omfattende i staldanlæg, og dermed relativt omkostningstunge. Endvidere skal den styring, der skal regulere ventilationen i flere staldsektioner, være mere avanceret end traditionel styring af staldventilationsanlæg.

I forbindelse med sagsbehandlingen for såvel landbrug som industri kan skorstensløsninger anvendes til reduktion af lugt hos naboer, beliggende relativt tæt på lugtkilden. For husdyrbrug kan

anvendes *Faglig rapport vedrørende en ny lugtvejledning for husdyrbrug* (Skov- og Naturstyrelsen, 2006).

Reduktion i tab af næringsstoffer i forbindelse med fodring

Husdyrenes produktivitet og sundhed er afhængige af tildelingen af næringsstoffer og energi, hvorfor der gennem tiderne har været stor fokus på tilstrækkelig forsyning til at sikre produktion, sundhed, velfærd, produktkvalitet mv. Samtidig har der gennem de senere årtier været stor bevhængighed på den mængde næringsstoffer, der ikke udnyttes til produktion, og som derfor udskilles med gødningen. Husdyrgødning indeholder mange værdifulde næringsstoffer samt energirige kulstof forbindelser, men hvis gødningen ikke anvendes korrekt, kan det give anledning til næringsstofophobning på landbrugsarealer, der tilføres husdyrgødning med efterfølgende risiko for tab til vandmiljøet. Dertil kommer risikoen for luftformigt tab af ammoniak, NO_x, metan mv.

Forskning og forsøg har sammen med rådgivning stor fokus på effektivisering af næringsstofomsætning og –udnyttelse for at begrænse tabene, og det har over årene resulteret i en stærkt reduceret udledning og dermed udvaskning af næringsstoffer som kvælstof og fosfor samt emitteret ammoniak pr. kg produkt. Men forskning og forsøg afdækker til stadighed nye muligheder til reduktioner, og der er stadig ikke udnyttede potentialer. De efterfølgende afsnit vil kort summere disse potentialer.

Der er ikke foretaget en egentlig økonomisk vurdering af de fodringsrelaterede teknologier, idet de nævnte tiltag oftest vil have en bred effekt på flere miljøfaktorer (N udledning, ammoniak emission, fosforudledning og emission af CO₂ ækvivalenter) og i hele kæden (stald, lager og udbringning). I stedet er der opstillet en prioriteret liste inden for de nævnte teknologiske delområder.

Biologi med miljøeffekt

Virkemidlerne bag forbedringerne (opnåede og forventede) kan relateres til biologiske teknologier:

- 1) effektivitetsstigninger (foderudnyttelse) opnået gennem avl og management
- 2) foderoptimering (fodervurdering, fastlæggelse af næringsstofbehov)
- 3) tilpasset fodring til dyrenes behov (fasefodring, flere foderblandingstyper, præcisionsfodring, reduktion af spild)
- 4) erstatning af råprotein med industrielle aminosyrer (svin)
- 5) brug af højkvalitets foderfosfater (MCP)
- 6) brug af enzymer som fytase
- 7) andre foderadditiver (senest benzoesyre)
- 8) overvågning af sundhed og produktion (høj produktion og lavt foderforbrug)
- 9) andet

Ovennævnte ”biologiske/fysiologiske” tiltag har været en forudsætning for den store reduktion i udskillelse og tab af næringsstoffer og gasser, der løbende er registreret over de seneste årtier, men de enkelte virkemidler har ikke samme relevans hos alle husdyrarter. Samtidig er viden om de enkelte virkemidlers effekt ikke ens for alle husdyrarter, så der ligger fortsat ikke-belyste potentialer og venter, ligesom fortsat udvikling og kendskab til foderoptimeringsteknologi og næringsstofbehov vil muliggøre yderligere biologisk betingede forbedringer.

Fodringsrelaterede miljøteknologier

Foruden de biologisk orienterede teknologier, som er nævnt ovenfor, er der i dag også fokus på teknologi som staldindretning, indeklimastyring og -strategi, gødningshåndtering herunder gylleforsuring, gylleafkøling mv., som er beskrevet i tidligere afsnit og som derfor ikke omtales nærmere i dette kapitel.

Derimod bliver teknologier, der retter sig mod udmøntningen af ovennævnte biologiske potentialer, behandlet nærmere i det følgende.

Fasefodring eller fodring tilpasset dyrenes fysiologiske behov

Det vurderes, at potentialet ikke er udnyttet fuldt ud hos alle husdyrarter, idet det har været nemmere/billigere at udmønte hos nogle husdyrarter end hos andre. Tilpasset fodring (fasefodring, præcisionsfodring) medfører, at det enkelte dyr får tildelt foder som både har et mere korrekt næringsstofindhold i forhold til dets fysiologiske stadie og er tildelt i den korrekte mængde. Fasefodring udvikles også løbende, idet det faglige grundlag for at udvide antallet af faser fra 2 til 3 til multifaset fodring etableres og dokumenteres. Principielt vil anvendelse af flere faser bevirke en mere præcis fodring tilpasset dyrenes behov, men effekten af et stigende antal faser vil relativt være mindre relativt. Brug af flere faser forudsætter øget viden om ændringerne i dyrenes behov gennem vækst og/eller reproduktion, men i takt med, at denne viden opnås, skabes der også et fagligt grundlag for at introducere flere faser i fasefodringen. Eksempler:

- 1) Gruppeopdeling af dyr med samme fysiologiske stadium, som muliggør specifik fodring med foderrationer, der er tilpasset dyrenes aktuelle næringsstofbehov. Dette muliggør en mere effektiv udnyttelse af foderets næringsstoffer med følgelig lavere udskillelse og emission.
- 2) Udfodringsudstyr (automater, blandingsudstyr, rørføringer mv.) som muliggør tildeling af det ”fysiologisk korrekte foder” til grupper og/eller enkelte dyr.
- 3) Overvågningsudstyr til vurdering af optimal fodringsstrategi/udfodring til sikring af høj produktivitet og sundhed, som en forudsætning for effektiv næringsstofudnyttelse og reduceret udskillelse og tab.

- 4) Udstyr til begrænsning af afgrødetab (høst, lagring, udtagning) og foderspild i stalden.

De nævnte eksempler/virkemidler forventes alle generelt at have en forbedrende effekt på næringsstofudnyttelsen og dermed udskillelsen af næringsstoffer samt på emissionen af f.eks. ammoniak.

Der forventes derfor følgende effekter:

- 1) Nedsat kvælstofudledning pr. kg produkt (og dermed reduceret udvaskning)
- 2) Nedsat emission af ammoniak (og dermed reduceret emission)
- 3) Nedsat fosforudledning pr. kg produkt (og dermed reduceret ophobning)
- 4) Nedsat emission af CO₂ ækvivalenter (eks. metan)

Ovennævnte virkemidler giver ikke samme udslag på de 4 nævnte potentielle effekter, hvorfor det er vanskeligt at karakterisere ”værdien i effekt” af hver kr., der investeres i de tekniske tiltag til udmøntning af den biologiske viden. Det betyder, at der for flere af tiltagene vil være mulighed for at opnå gevinst på alle 4 nævnte effekter, men effekterne kan ikke umiddelbart slås sammen (adderet). Dette forudsætter, at der sker en prioritering af, hvilken af de ”4 effekter”, der vurderes at være den mest efterspurgt i det konkrete tilfælde (afhængig af bedrift, miljøgodkendelse mv.).

Udover ovennævnte tiltag vedr. fasefodring/tilpasset fodring, som forventes at have mere generel effekt på næringsstofudskillelse og emission, er der tiltag, der er mere målrettet en enkelt af de ovennævnte 4 effekter. Eksempel:

- 1) fedttildeling i foderrationen, som forventes at medføre en reduktion i emissionen af metan (CO₂ ækvivalenter)

I visse husdyrproduktioner (eksempelvis kvæg) kan der være behov for etablering af udstyr til sikker iblanding af relevante fedttyper til foderrationerne med henblik på opnåelse af det fodringsmæssige potentiale for reduktion i emissionen af metan. En sidegevinst er, at det samtidig vil forhindre et energitab hos malkekøer. Samtidig forventes der øget fokus på udvikling af pålideligt og driftssikkert on line udstyr, der kan bidrage til mere sikker og præcis udfodring/dosering af foder (f.eks. ensilage).

Samme teknologi påvirker flere miljøeffekter

Fodringsmæssige tiltag har grundlæggende effekter på næringsstofudnyttelse og emissioner i hele kæden, idet virkemidlerne angriber ved ”kildens rod”. Det betyder eksempelvis, at en nedsættelse af udskillelsen af kvælstof med gødning og urin alt andet lige også medfører en reduceret emission af ammoniak. Derfor vil udmøntning af ændret fodring (biologisk teknologi) medføre tværgående effekter, som også vil påvirke effekten af de ”tekniske teknologier”, der måtte kobles på efterfølgende. Grundlæggende vil de nævnte biologiske tiltag kunne begrænse behovet for efterfølgende tek-

nologiske tiltag, ligesom effekten af evt. teknologiske tiltag vil være afhængig af næringsstofindhold og koncentration i husdyrgødningen.

Vurdering af omkostningseffektiviteten (investering- og driftsomkostninger i forhold til opnået miljøeffekt) skal foretages i forhold til de specifikke krav, der ligger på den enkelte bedrift. En egentlig vurdering af de gennemgåede virkemidlers effekt og omkostningseffektivitet vil derfor omfatte, at der foretages en værdisætning af de 4 effekter (kvælstofudledning, emission af ammoniak, udledning af fosfor, emission af CO₂ ækvivalenter) individuelt eller samlet for to eller flere. En sådan objektiv vurdering er ikke mulig, idet det forudsætter en vægtning af de 4 effekters "værdi". I stedet er der gennemført en overordnet vurdering af de forskellige teknologiers samlede effekt med henblik på en vurdering af den forventede effekt indenfor dyrekategori.

De nævnte teknologiske tiltag til udmøntning af de biologiske potentialer har væsentlig betydning inden for nogle husdyrgrene, hvorimod de inden for andre produktionsgrene ikke har samme værdi. Samtidig kan det nævnes, at tilpasset fodring/præcisionsfodring/fasefodring har bred effekt på næringsstofudnyttelse og -udskillelse, således at udnyttelsen af alle næringsstoffer og energi forbedres til gavn for miljø og produktionseffektivitet. Denne analyse har taget udgangspunkt i de nævnte teknologier i forhold til praksis, hvorfor der er angivet en ramme for effekternes størrelse, som afspejler, at størrelsen af effekten i praksis afhænger af udgangspunktet på den enkelte bedrift.

Oplysninger, der vil være gavnlige for effektvurderingen i de enkelte situationer, vil omfatte følgende: angivelse af nuværende og forventet fodringspraksis og fodersammensætning efter etablering af teknologien, produktionseffektivitet, angivelse af nuværende husdyrgødningstal (til belysning/vurdering af potentiel effekt), angivelse af om tiltaget skal kombineres med andre teknologiske tiltag (eksempelvis forsuring). Sidstnævnte kan være af væsentlig betydning, idet der ofte er manglende additivitet af effekter, når forskellige teknologier kombineres.

Samlet vurdering af fodringsrelaterede teknologier, der understøtter en reduceret udskillelse af næringsstoffer, ammoniak og metan

En samlet vurdering af udstyr/teknikker inden dyrekategori er anført i bilag 1, hvori også er anført en vurdering af de forskellige tiltags effekter på de fire forskellige miljøfaktorer. Der er foretaget en samlet vurdering inden for hver dyrekategori ved angivelse af 1-3 stjerner, hvor 3 stjerner angiver den største forventede effekt på de fire miljøfaktorer. Der er anvendt 2 dyrekategorier: kvæg og svin. Den vurderede effekt er angivet i % i forhold til normtal for gødningsplanåret 2013/14 og kan variere mellem de forskellige dyrekategorier, men der kan ikke foretages en egentlig vurdering mellem de to kategorier kvæg og svin. Der henvises til <http://anis.au.dk/normtal/>, hvor baggrundsværdier for foder, foderforbrug mv. findes. Variationen i effektens størrelse er bl.a. vurderet ud fra effekt af helt ny teknologi eller effekt af opgradering af gammel med ny version af teknologien. Den

eksakte effekt skal vurderes i de enkelte tilfælde, så værdierne i tabellen skal betragtes som vejledende. Der er ikke angivet eventuelle grænseværdier ift. sundheds-/velfærdsparametre.

Energibesparende teknologier

I forhold til etablering af miljøvenlige produktionsanlæg er der en række energibesparende teknologier, der kan implementeres. I det nedenstående er beskrevet en række af disse energibesparende teknologier, som kan anvendes i svine- og kvægstalde.

Lavenergi ventilation

Over en årrække er der udviklet nye og mere energieffektive ventilatorer til svinestalde (Videncenter for Svineproduktion, 2013). I starten af 2000-tallet kom der frekvens regulerede motorer på markedet som halverede energiforbruget i forhold til de tidligere Triak regulerede motorer. Det nyeste er implementeringen af nye jævnstrømsmotorer, som reducerer energiforbruget yderligere. De nye jævnstrømsmotorer benævnes også som LPC/EC-motorer ("low power consumption"). I Tabel 22 er angivet en oversigt over energiforbrug ved forskellige typer af motorer.

Tabel 22. Målt og vurderet energiforbrug for de forskellige motortyper (Videncenter for Svineproduktion, 2013)

Type	kWh/ produceret slagtesvin	kWh/stiplads
Triak	10	35
Multistep ¹	5,7	20
Frekvens ²	4,6	16
LPC/EC ³	2,9	10

¹ Trinløs enhed forsynet med frekvensmotor og ON/OFF enhed forsynet med AC-motor; ² Vurderet skøn på grundlag af måling i FRATS stalde, slagtesvine- og drægtighedsstalde; ³ Måling fra en igangværende test af energiforbrug.

LED belysning

Ved at udskifte standard lysstofrør med LED-belysning ("light-emitting diode") kan der opnås en væsentlig reduktion i energiforbruget i både svine- og kvægstalde. Der foreligger ikke konkrete målinger for svine- og kvægstalde, men en test udført af AgroTech A/S i en slagtekyllingestald har vist en energibesparelse på 33% og en tilsvarende lysfordeling som ved standard lysstofrør (Rasmussen, 2013). På baggrund af disse resultater forventes, at der som minimum kan opnås en energibesparelse på 30% i svine- og kvægstalde. Der er igangsat undersøgelser i svinestalde, som skal afklare energibesparelsen samt forhold som holdbarhed, biologisk effekt, arbejdsmiljø og farvevalg.

Intelligent overdækning til to-klimastier i smågrisestalde

Princippet for intelligent overdækning til klimastier i smågrisestalde fra VengSystem A/S er at overdækningen og varmetilførslen reguleres automatisk i forhold til grisenes varmebehov. I overdækningen er der placeret en sensor som registrerer om grisene er aktive eller i hvile samt overfladetemperaturen på grisene. Varmetilførslen sker ved hjælp af varmelamper, hvilket giver mulighed for at tilføre varmen individuelt til de enkelte stier. En test, udført af AgroTech A/S har en vist en energibesparelse på 43% ved intelligent overdækning i to-klimastier i smågrisestalde med varmetil-

førsel vis varmelamper sammenlignet med normale to-klimastier med rum- og gulvvarme (Andersen, 2011).

Frekvenstyret vakuumpumpe til malkeanlæg

Med en frekvensstyret vakuumpumpe til malkeanlæg opnås der en energibesparelse ved at pumpens ydeevne reguleres i forhold til det reelle behov for vakuum. Sammenlignet med en almindelig vakuumpumpe på 4 kW giver en frekvensstyret vakuumpumpe en besparelse på ca. 35%. Dette svarer til at energiforbruget reduceres fra ca. 7.008 kWh til 4.563 kWh i en besætning med 100 årskøer.

Varmegenvinding fra mælkekøling

Ved varmegenvinding fra mælkekøling opnås der en besparelse på opvarmning af brugsvand. Ved varmegenvindingen kan vandet opvarmes til 45-50 °C, hvilket gør at vandet kan anvendes til almindelig håndvask og brusebad eller som drikkevand i vinterperioden. Vand der anvendes til rengøring af malkeudstyr kræver normalt en temperatur over 80 °C og her spares der energi, når vandet kun skal opvarmes fra 45-50 °C fremfor fra 10-15 °C. Energibesparelsen på opvarmning af brugsvand sammenlignet med normal opvarmning afhænger af behovet for almindeligt brugsvand og vand med en temperatur over 80 °C.

Brøndvandskøling af mælk

Ved at anvende en pladekøler med brøndvand (ned til 8 °C) ved mælkekøling kan der opnås en energibesparelse på mælkekøling. Desuden kan brøndvandskøling kombineres med en frekvenstyret mælkepumpe, som kan sikre at der ikke pumpes mere mælk hen til pladekøleren end at brøndvandet kan udnyttes optimalt. Sammenlignet med normal mælkekøling giver brøndvandskøling en besparelse på ca. 57%. Dette svarer til at energiforbruget reduceres fra ca. 15.856 kWh til 6.871 kWh i en besætning med 100 årskøer. Kombineres brøndvandskølingen med en frekvensstyret mælkepumpe, så reduceres energiforbruget yderligere til 4.757 kWh.

Varmegenvinding ved gyllekøling

Ved varmegenvinding fra gyllekøling kan der opnås en energibesparelse, hvis den indvundne varme kan anvendes andre steder på bedriften. Det kan eksempelvis være til opvarmning af stalde, driftsbygninger, stuehus, vådfoderanlæg, vaskevand og korntøringsanlæg. Den samlede effekt af varmegenvinding fra gyllekøling på energiforbruget til opvarmning afhænger af i hvor høj grad den indvundne varme kan anvendes.

Referencer

Andersen, M. 2011. Intelligent overdækning i to-klimastalde. Testrapport udarbejdet af AgroTech A/S.

AgroTech. 2012. Testrapport, Harsø tankforsuring. Intern rapport, AgroTech, Agro Food Park 15, 8200 Århus N.

Andersen, J. 2004. Statistisk analyse af GfK-data. Notat fra Dansk Landbrug.

Budgetkalkulerne 2010/2011:

https://www.landbrugsinfo.dk/Oekonomi/Budget/Budgetkalkuler/Filer/Budgetkalkuler_2010-2011_okt_2010.pdf

Chadwick, D. 1997. Nitrous oxide and ammonia emissions from grassland following application of slurry: Potential abatement practices. In: Gaseous nitrogen emissions from grasslands. Eds. Jarvis S.C. Pain B.F. 257-264.

Christensen, S., H.T. Søgaard, P. Kudsk, M. Nørremark, I. Lund, E.S. Nadimi & R. Jørgensen. 2009. Site-specific weed control technologies. Weed Research 49, 233-241.

Energistyrelsen. 2013. Tabeller med samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger-
<http://www.ens.dk/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/samfundsokonomiske-beregnings-forudsætninger>. (02.08.2014)

Farmtal online: <https://farmtalonline.dlbr.dk/Grid/uiGrid.aspx?Farmtal=17144&ViewType=View>
(01.07.2013)

Green, O., R.N. Jørgensen & K.M. Kristensen. 2010. Udbyttepåvirkning af kørsel på kløvergræs i foråret, Grøn Viden, Markbrug nr. 336, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, AU, Blichers Allé 20, 8830 Tjele.

Hanna, H.M., D.S. Bundy, J.C. Lorimor, S.K. Mickelson, S.W. Melvin & D.C. Erbach. 2000. Manure incorporation equipment effects on odor, residue cover, and crop yield. Applied Engineering in Agriculture, 16(6): 621-627.

Hansen M.N., S.G. Sommer & N.P. Madsen. 2003. Reduction of ammonia emission by shallow slurry injection: Injection efficiency and additional energy demand. Journal of Environmental Quality 32: 1099-1104.

Hansen, M.N., S. G. Sommer, N. J. Hutchings & P. Sørensen. 2008. Emissionsfaktorer til beregning af ammoniakfordampning ved lagring og udbringning af husdyrgødning. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, DJF rapport Husdyrbrug Nr. 84, 43 pp.

Hansen, M.J., T. Nyord, P.K. Jensen, B. Melander, A. Thomsen, H.D. Poulsen, P. Lund & L. Andersen. 2012. Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. DCA Rapport Nr. 12, Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

Hansen, M.J., T. Nyord, L.B. Hansen, L. Martinsen, B. Hasler, P.K. Jensen, B. Melander, A. Thomsen, H.D. Poulsen, P. Lund, J.N. Sørensen, C. Ottosen, L. Andersen. 2013. Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. DCA Rapport Nr. 29, Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Hansen, M.N. 2014. Overdækning af gylle. Redegørelse, opdatering og vurdering af videnskabelig dokumentation. Rapport udarbejdet af AgroTech A/S.

http://mst.dk/media/mst/9069931/2014_02_21_overd_kning_rapport_revideret_j_vnf_r_melt_og_mst.pdf

Hilhorst, M.A., R.W. Mele, H.C. Willers, C.M Groenestein & G.J. Monteny. 2001. Effective strategies to reduce methane emissions from livestock. ASAE, Paper no 01-4070, pp 1-8.

Høy, J. 2009. Afprøvning af ny nedfælder til vintersæd. Landbrugsinfo, artikel nr. 49.

Jensen, T.L. & M.J. Hansen. 2006. Slattesvinestald med biologisk luftrensning fra SKOV A/S. Meddelelse nr. 737. Landsudvalget for svin, Den rullende Afprøvning.

Jensen, T.L., B.L. Riis & A. Feilberg. 2005. Reduktion af lugt og ammoniak med Oldenburg Biofilter, Agrofilter GmbH. Landsudvalget for Svin, Den Rullende Afprøvning.

Jensen, M.L. 2011. FarmTest - Gylleforsuring i kvægstalde. Udgivet af Videncentret for Landbrug i serien: FarmTest Kvæg – 66. Tilgængelig på Landbrugsinfo:

<https://www.landbrugsinfo.dk/Tvaerfaglige-emner/FarmTest/Sider/FarmTest-Kvaeg-66-Gylleforsuring-i-kvaegstalde.aspx>

Juhler, S., N.P. Revsbech, A. Schramm, M. Herrmann, L.D.M. Ottosen & L.P. Nielsen. 2009. Distribution and rate of microbial processes in an ammonia-loaded air filter biofilm. Applied and Environmental Microbiology, 75, 3705-3713.

- Jørgensen, M. 2014. Afprøvning af kemisk luftrensning fra Munters A/S i en slagtesvinestald med fuld luftrensning, Meddelelse nr. 1006. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Jørgensen, M. & A.L. Riis. 2014. 10% punktudsugning via sugepunkt midt under lejeareal i slagtesvinestald med fast gulv i lejearealet, Meddelelse nr. 1000. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Jørgensen, R.N., Green, O., Kristensen, K.M., Gislum, R. & Sørensen, C.G. 2009. Estimating impact on clover-grass yield caused by traffic intensities. *Precision Livestock Farming '09* pp. 143-147.
- Kai, P., J.S. Strøm & B.-E. Jensen. 2007. Delrensning af ammoniak i staldluft. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Grøn Viden Husdyrbrug nr. 47.
- Kai, P., P. Pedersen, J.E. Jensen, M.N. Hansen & S.G. Sommer. 2008. A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *European Journal of Agronomy*, 28, 148–154.
- Kai, P., T. Nyord, N. E. Andersson, P.K. Jensen, B. Melander, H.D. Poulsen, P. Lund, F.P. Vinther & C. Kjærgaard. 2010. Oversigt over og vurdering af miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.
- Kai, P., T. Nyord, N. E. Andersson, H.L. Pedersen, P.K. Jensen, B. Melander, H.D. Poulsen & P. Lund. 2011. Oversigt over miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.
- Lyngbye, M. & M.J. Hansen. 2008. Slagtesvinestald med biologisk luftrensning fra SKOV A/S - filter-arealets betydning ved maksimumventilation. Meddelelse nr. 827. Dansk Svineproduktion, Den rullende Afprøvning.
- Mikkelsen, S.A., S. Christensen, P.H. Schaarup, L. Vejbæk, I. Ravn, N.H. Lundgaard, O. Aaes, M. Lyngbye, R. Damkjær, B. Jacobsen, M. Qwist, E. Sommer & F. Larsen. 2006. Udredningsrapport for teknologier – med særligt henblik på miljøeffektive teknologier til husdyrproduktionen. Miljøministeriet. <http://www.ft.dk/samling/20051/almdel/MPU/Bilag/427/286553.PDF>
- Miljøstyrelsen. 2009a. Luftvasker med syre. Miljøstyrelsens BAT-blade. 2. udgave 19.05.2009.
- Miljøstyrelsen. 2009b. Svovlsyrebehandling af gyllen i slagtesvinestalde. Miljøstyrelsens BAT-blade. 1. udgave, 19.05.2009.

Miljøstyrelsen. 2009c. Svovlsyre behandling af kvæggylle. 2. Udgave. Miljøstyrelsens BAT-blade. 2. udgave, 19.05.2009.

Miljøstyrelsen. 2010a. Skrabere i gangarealer i stalde med malkekvæg. Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 30.06.2010.

Miljøstyrelsen 2010b. Fast overdækning af gyllebeholdere. Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 11.11.2010.

Miljøstyrelsen. 2011a. Biologisk luftrensning (slagtesvin). Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 23.05.2011.

Miljøstyrelsen. 2011b. Biologisk luftrensning (søer). Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. Udgave, 29.04.2011.

Miljøstyrelsen. 2011c. Biologisk luftrensning (smågrise). Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. Udgave, 29.04.2011.

Miljøstyrelsen. 2011d. Notat vedr. tilpassede dokumentationskrav for optagelse af forsureningsteknologier på Miljøstyrelsens Teknologiliste med henblik på at opnå sidestilling med nedfældning af husdyrgødning.

Miljøstyrelsen. 2014. Teknologilisten – Miljøeffektive og driftsikre landbrugsteknologier. Opdateret juli 2014.

Moseley P.J., T.H. Misselbrook, B.F. Pain, R. Earl, and R.J. Godwin. 1998. The effect of injector tine design on odour and ammonia emissions following injection of bio-solids into arable cropping. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71, 385-394.

Nyord, T., Dezhao, L., Eriksen, J., Adamsen, APS. 2013. Effect of acidification and soil injection of animal slurry on ammonia and odour emission. *Proceeding of the 14th RAMIRAN International Conference in Versailles, France*.

http://www.ramiran.net/doc13/Proceeding_2013/homepage.html

Nyord T. & M.N. Hansen. 2008. Soil injection of animal slurry to growing cereals – effects on odour emission, draught requirement and yield. *Bulgaria*, 147-152.

Nyord, T., E.F. Kristensen, L.J. Munkholm & M.H. Jørgensen. 2010. Design of a slurry injector for use in a growing cereal crop. *Soil & Tillage Research*, 107, 26-35.

- Olesen, J.E., S. Gyldenkærne, S.O. Petersen, M.H. Mikkelsen, B.H. Jacobsen, L. Vesterdal, A.M.K. Jørgensen, B.T. Christensen, J. Abiltrup, T. Heidman & G. Rubæk. 2004. Jordbrug og klimaændringer – Samspil til Vandmiljøplaner. Danmarks JordbrugsForskning. Markbrug nr. 109.
- Pedersen, P. 1997. Køling af gylle i slagtesvinestalde med fuldspaltegulv. Meddelelse nr. 357. Landsudvalget for svin, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P. 2004. Svovlsyrebehandling af gylle i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 683. Landsudvalget for Svin, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P. 2005. Linespilsanlæg med køling i drægtighedsstalde. Meddelelse nr. 694. Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P. 2007. Tilsætning af brintoverilte til forsuret gylle i slagtesvinestalde med drænet gulv. Meddelelse nr. 792. Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P., K. Albrechtsen. 2012. JH Forsuringsanlæg i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 932. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P., T.L. Jensen & M. Jørgensen. 2010. Forskellige gulvtyper med og uden gulvudsugning til slagtesvin i en vinterperiode, Meddelelse nr. 878. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P. & T.L. Jensen. 2010. Forskellige gulvtyper med og uden gulvudsugning til slagtesvin i en sommerperiode, Meddelelse nr. 883. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Petersen, S.O. & J.E. Olesen. 2011. Miljømål for landbruget kan realiseres. Ingeniøren, kronik. 12. august.
- Petersen, S.O., A.J. Andersen & J. Eriksen. 2012. Effects of slurry acidification on ammonia and methane emission during storage. *Journal of Environmental Quality*, 41, 88-94. Poulsen, H.D., C.F. Børsting, H.B. Rom & S.G. Sommer. 2001. Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normtal 2000. Danmarks JordbrugsForskning, DJF rapport Husdyrbrug Nr. 36.
- Poulsen, H.D. 2013. Normtal for husdyrgødning – 2013. Aarhus Universitet.
http://dca.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/Normtal_2013_2.pdf
- Rasmussen, S.G. 2013. Måling af energibesparelse ved anvendelse af LED-belysning i slagtekyllingestalde. Testrapport udarbejdet af AgroTech A/S.

- Reuter, C. 1998. Water saving irrigation systems. *Gemüse* 34, 21-24.
- Riis, A.L. 2008. Ammoniakreduktion og driftsomkostninger ved Bovema S-air ét-trins luftrensere i en smågrisestald. Meddelelse nr. 820, Danske Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Riis, A.L., M. Lyngbye & A. Feilberg 2008. Afprøvning af vertikalt biofilter efter amerikansk princip. Meddelelse nr. 819, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Riis, A.L. 2009. Central luftrensere fra ScanAirClean A/S afprøvet i en kombineret smågrise- og poltestald. Meddelelse nr. 842, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Riis, A.L. 2010a. Biofilter kombineret med Farm AirClean BIO modul fra SKOV a/s. Erfaring nr. 1001, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Riis, A.L. 2010b. Biologisk luftrensere fra Veng-system. Erfaring nr. 1008, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Riis, A.L. 2012. Test af Farm AirClean 3-trins Bio Flex fra SKOV A/S i en slagtesvinestald. Meddelelse nr. 930, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Riis, A.L. & T.L. Jensen. 2007. BIO-REX Hartmann Bio-Filter afprøvet ved en slagtesvinestald. Meddelelse nr. 807, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Riis, A.L., M. Jørgensen & P. Hansen. 2014a. 10 % punktudsugning via sugepunkt midt under lejeareal i slagtesvinestald med drænet gulv i lejearealet. Meddelelse nr. 998. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Riis, A.L., M. Jørgensen & P. Hansen. 2014b. 10 % punktudsugning via sugepunkt under hver 2. stiadskillelse i slagtesvinestald med drænet gulv i lejearealet. Meddelelse nr. 999. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Rodhe L., M. Peel & S. Yamulki. 2006. Nitrous oxide, methane and ammonia emissions following slurry spreading on grassland. *Soil Use and Management*, 22, 229-237.
- Seidel, A.P., Pacholski, A., Nyord, T. & Kage, H. 2013. Reduction of ammonia emissions by acidification of cattle slurry applied to grassland. Proceeding of the 14th RAMIRAN International Conference in Versailles, France. http://www.ramiran.net/doc13/Proceeding_2013/homepage.html
- Skov- & Naturstyrelsen. 2006. Faglig rapport vedrørende en ny lugtvejledning for husdyrbrug. Miljøministeriet, Skov- & Naturstyrelsen, 66 pp.

- Sommer S.G., S.O. Petersen & H.B. Møller. 2003. Algorithms for calculating greenhouse gas emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69, 143-154.
- Sørensen, K. & A.L. Riis. 2008. Ammoniak- og lugtreduktion i en biologisk luftrenser fra Skiold A/S. Erfaring nr. 0807, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Sørensen, K. 2011. Afprøvning af biologisk luftrenser fra Dorset Milieutechnik B.V. Meddelelse nr. 925, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Thomsen I.K., A.R. Pedersen, T. Nyord & S.O. Petersen. 2010. Effects of slurry pre-treatment and application technique on short-term N₂O emissions as determined by a new non-linear approach. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 136, 227-236.
- Videncenter for Svineproduktion. 2013. Energibesparende ventilation. Redaktør: Erik Damsted. http://vsp.lf.dk/Aktuelt/Nyheder/2013/08/200813_Energibesparende_ventilation.aspx
- Wulf, S., M. Maeting & J. Clemens. 2002. Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: I Ammonia volatilization. *Journal of Environmental Quality*, 31, 1789-1794.