

MILJØTEKNOLOGIER I DET PRIMÆRE JORDBRUG - DRIFTSØKONOMI OG MILJØEFFEKTIVITET

MICHAEL JØRGEN HANSEN, TAVS NYORD, PETER KRYGER JENSEN, BO MELANDER,
ANTHON THOMSEN, HANNE DAMGAARD POULSEN, PETER LUND OG LILLIE ANDERSEN

DCA RAPPORT NR. 012 · NOVEMBER 2012



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



Forord

Nærværende rapport er udarbejdet af forskere ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (AU/DCA) på foranledning af NaturErhvervstyrelsen (NEST). 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, 2012-2015” (Punkt MB-2012-21 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 NEST til prioritering af ansøgninger i anledning af Fødevareministeriets miljøteknologiordning, omfattende tilskud til projekter vedrørende investeringer i grønne processer og teknologier i den primære jordbrugsproduktion.

Miljøteknologiordningen er målrettet tilskud til investeringer i ny teknologi inden for følgende fem indsatsområder:

- 1) Reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra husdyrproduktion og husdyrgødning,
- 2) Reduktion af pesticidanvendelsen,
- 3) Reduktion i tab af næringsstoffer i forbindelse med fodring, omsætning af foderstoffer samt anvendelse af husdyrgødning,
- 4) Reduktion af energi-, vand-, næringsstof- og pesticidforbruget i gartnerisektoren og
- 5) Tilbageholdelse af næringsstoffer fra markerne.

Rapporten blev første gang udarbejdet i 2010, hvor koordinering af de enkelte afsnit og det tilhørende regneark (Bilag 1) blev forestået af forsker Peter Kai, Institut for Ingeniørvidenskab, som ligeledes forestod koordinering af opdatering af rapporten i 2011 (Kai et al., 2010 og Kai et al., 2011).

I 2010 indeholdt rapporten et afsnit om Indsatsområde 5. Dette afsnit er taget ud i 2011 og 2012, fordi NEST behandler Indsatsområde 5 særskilt.

AU Foulum, november 2012

Susanne Elmholt

Seniorforsker, koordinator for myndighedsrådgivning ved DCA

Indholdsfortegnelse

Forord	3
Indholdsfortegnelse.....	4
Indsatsområde 1: Reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra husdyrproduktion og husdyrgødning.....	5
Grundlag for beregning af ammoniakemission.....	5
Kemisk luftrensning (svin / ammoniak)	8
Biologisk luftrensning (svin / ammoniak og lugt)	11
Delluftrensning.....	14
Gylleforsuring (svin, kvæg / ammoniak).....	16
Gyllekøling (Svin / ammoniak).....	20
Spaltegulvsskrabere (kvægstalde / ammoniak)	23
Etagesystem med gødningsbånd (fjerkræ / ammoniak)	25
Daglig tømning af gødningsrender i minkhaller (mink / ammoniak)	26
Høje skorstene (svin og fjerkræ / lugt).....	29
Fast overdækning af gyllebeholder (Svin, kvæg, mink / ammoniak).....	29
Beskrivelse af teknikkerne	30
Driftsomkostninger	32
Udbringning af husdyrgødning.....	33
Indsatsområde 2: Reduktion af pesticidanvendelsen	43
Omkostningseffektivitet ved reduktion af pesticidanvendelsen.....	43
Rækkedyrkningsystemer	43
Autostyring og sektionsafblending af sprøjter	44
GPS udstyr til autostyring	45
Sensorbaseret ukrudtssprøjte	45
Stedspecifik plantebeskyttelse (ukrudtsbekæmpelse)	47
Injektionssprøjter til stedspecifik plantebeskyttelse (ukrudtsbekæmpelse)	48
Indsatsområde 3: Reduktion i tab af næringsstoffer i forbindelse med fodring, omsætning af foderstoffer samt anvendelse af husdyrgødning.....	49
Biologi med miljøeffekt	50
Fodringsrelaterede miljøteknologier	50
Samme teknologi påvirker flere miljøeffekter.....	52
Samlet vurdering af fodringsrelaterede teknologier, der understøtter en reduceret udskillelse af næringsstoffer, ammoniak og metan.....	53
Indsatsområde 4: reduktion af energi-, vand-, næringsstof- og pesticidforbruget i gartnerisektoren	55
Energi.....	55
Pesticidreduktion i gartnerisektoren	68
Referencer	73
Bilag 1 Skematisk oversigt over tilgængelige miljøteknologier 2012.....	81
Bilag 2 Fastlæggelse af ammoniakemission under udbringning af husdyrgødning på ejendomsniveau	85
Bilag 3 Emissionskoefficienter for udbragt gylle 2011 for kvæg og svin	88

Indsatsområde 1: Reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra husdyrproduktion og husdyrgødning

Post doc Michael Jørgen Hansen og adjunkt Tavs Nyord

Indledningsvis skal nævnes, at i den første udgave af rapporten fra 2010 (Kai et al., 2010) og i opdateringen fra 2011 (Kai et al., 2011) blev de afsnit under Indsatsområde 1, der omhandler reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra husdyrproduktion, udarbejdet af forsker Peter Kai, Institut for Ingeniørvidenskab. Opdatering af disse afsnit er i 2012 overtaget af Michael Jørgen Hansen.

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

Grundlag for beregning af ammoniakemission

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 2011/2012” (Poulsen, 2011), som er en årlig opdatering af Poulsen et al. (2001). Fra 2011 beregnes ammoniakemissionen fra stalde med gyllesystemer på grundlag af total ammonium kvælstof (TAN), men af hensyn til sammenligneligheden inden for indsatsområde 1 er det valgt at beregne ammoniakemissionen af den samlede mængde kvælstof af dyr. 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 2011/2012. 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 (30-102 kg)	2,82	0,65	23,4
Slagtesvin, 25-49% fast gulv (30-102 kg)	2,82	0,58	20,7
Slagtesvin, 50-75% fast gulv (30-102 kg)	2,82	0,50	18,0
Drægtige søer, delv. fast gulv	18,7	4,0	24,6
Diegivende søer, kassesti med delv. spaltegulv	6,5	1,27	18,1
Smågrise, to-klimastald (7,2-30 kg)	0,49	0,08	15,7
Malkekøer (stor race), ringkanal eller bagskyl	141,4	25,5	19,1
Malkekøer (stor race), gødningskanal med linespil	141,4	22,9	17,2
Malkekøer (jersey), ringkanal eller bagskyl	120,2	21,6	19,0
Fjerkræ, skrabeægsproduktion, gulvsystem med gødningskumme (100 årshøner)	86,8	39,3	65,3
Fjerkræ, skrabeægsproduktion, etagesystem med gødningsbånd (100 årshøner)	86,8	19,5	32,4
Mink, bure, gødningsrende (ugentlig tømning) (1 årstæve)	5,81	3,22	96,6

Dyreenheder (DE)

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. 717 af 2/7 2009). Tabel 2 viser eksempler på 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 (9234 kg mælk)	1 årsko	0,75
Malkekøer Jersey uden opdræt (6555 kg mælk)	1 årsko	0,88
Søer med grise til frav. (4 uger, ca. 7,3 kg)	1 årso	4,3
Smågrise fra 7,3 til 32 kg	1 prod. dyr	200
Slagtesvin fra 32 til 107 kg	1 prod. dyr	36
Høner til ægproduktion	1 årsdyr	166
Mink, ildere o.l.	1 årstæve	30

Driftsøkonomi og omkostningseffektivitet

De økonomiske betragtninger har i nærværende rapport taget udgangspunkt i det omfattende udredningsarbejde vedrørende miljøteknologier i landbruget, der er pågået i de seneste år i regi af Miljøstyrelsen. I den forbindelse er der for en række miljøteknologier beregnet miljøeffektivitet og driftsøkonomiske kalkuler til brug for at vurdere teknologiernes driftsøkonomiske miljøeffektivitet. I de foreliggende BAT-blade (svovlsyrebehandling i slagtesvinestalde, svovlsyrebehandling af gylle i kvægstalde, kemisk luftrensning, køling af gyllen i svinestalde, gødningstørring i skrabeægsstalde, samt hyppig udmugning i konsumægsstalde med berigede buranlæg) blev der anvendt normalt for husdyrgødning anno 2008/2009. Der blev endvidere regnet på miljøeffekt fra stald til og med udbringning. Det sparede kvælstof-tab indgik beregningsmæssigt i driftsøkonomikalkulerne i form af forøgede markudbytter, og kun til at substituere handelsgødning i det omfang, marginaludbyttet ville falde. Grundlaget herfor er nærmere beskrevet i notatet Forudsætninger for de økonomiske beregninger af BAT teknologier – Revidering af økonomiske oplysninger i BAT-blade og er udarbejdet af NIRAS for Miljøstyrelsen (NIRAS, 2009).

I Miljøstyrelsens udredningsarbejde omkring BAT-standardkrav er der anvendt normalt for husdyrgødning anno 2005/2006. Værdien af sparet ammoniakfordampning fra stald, lager og udbringning er beregningsmæssigt fastsat til værdien af N og S i handelsgødning, henholdsvis 6 kr./kg N og 4,5 kr./kg S. Disse forskellige beregningsgrundlag giver således anledning til forskellige resultater. Vi har i nærværende rapport i videst muligt omfang harmoniseret grundlaget, så miljøteknologiernes driftsøkonomi og miljøeffektivitet kan sammenlignes på så ensartet et grundlag som muligt.

Kapitalomkostninger

Kapitalomkostningerne omfatter gennemsnitlige årlige omkostninger til forrentning og afskrivning af investeringen. Der er anvendt en rente på 5%. Investeringen afskrives lineært 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.

For en lang række af teknologierne kan der hentes yderligere informationer i de nyligt reviderede BAT-blade samt i teknologiudredningerne, der alle er at finde på Miljøstyrelsens hjemmeside: www.mst.dk.

Værdien af sparet kvælstofudledning er baseret på sparet indkøb af handelsgødning og er værdisat med prisen på kvælstof (6 kr./kg). 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 svovlgødning 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. 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 2011/2012.

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.:

*Ammoniakemission efter udvidelse ekskl. implementeret miljøteknologi
minus*

Ammoniakemission efter udvidelse inkl. implementeret miljøteknologi.

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.

Kemisk luftrensning (svin / ammoniak)

Kemisk luftrensning er baseret på en renseproces, hvor ventilationsluften ledes igennem en filtermatrice, der konstant overrisles med en syreopløsning, typisk fortyndet svovlsyre. 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.

Der er siden udredningsrapport for teknologier (Mikkelsen et *al.*, 2006) fremkommet nye danske undersøgelser der dokumenterer effektiviteten af kemisk luftrensning. Riis (2008) afprøvede en 1-trins Bovema syre-luftrensere på afgangsluften fra en smågrisestald og fandt en rensningseffektivitet på 99,7%. Den samlede reduktion i ammoniakemissionen fra stalden blev opgjort til 57%, idet luftrenserens 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.

For en kemisk luftrensning, som kan fjerne 90% af ammoniakken i luften, kan det beregnes, at ammoniaktabet reduceres med 0,32 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 11,4 kg N pr. DE ved rensning af al ventilationsluften (100% luftrensning). Ved 60% delluftrensning kan der beregnes et sparet ammoniaktab på 0,28 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 10,2 kg N pr. DE, og ved 20% delluftrensning 0,19 kg N pr. produceret slagtesvin eller 7,0 kg N pr. DE. Grundlaget for beregning af miljøeffekten ved brug af delluftrensning er nærmere beskrevet i et særskilt afsnit på side 14.

Ved delluftrensning har husdyrholdets størrelse i nogen grad indvirkning på investeringsbehovet og dermed på omkostningerne pr. kg sparet N-udledning. Tabel 3 viser et skøn over investeringsbehov, miljøeffekt og omkostningseffektivitet ved brug af en decentral kemisk luftrensning med en rensningseffektivitet på 90%. Decentrale luftrenserne er opbygget således at de kun renser luften fra én eller få staldsektioner og således i modsætning til centrale luftrenserne ikke kræver store hovedluftkanaler for at transportere luften. Sidstnævnte type er ikke beskrevet yderligere i nærværende rapport.

Tabel 3. Skøn over investeringsbehov, driftsomkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af 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	4164	3458	3542	3542	3542	4007
Årlige meromkostninger, kr./DE	897	712	697	661	651	730
Kg N reduceret pr. DE	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret ¹⁾	78	62	61	58	57	54
60% luftrensning						
Investering, kr. /DE	3844	3138	2075	2075	2075	2455
Årlige meromkostninger, kr./DE	807	609	443	415	401	455
Kg N reduceret pr. DE	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret ¹⁾	79	60	44	41	39	45
20% luftrensning						
Investering, kr. /DE	2671	1922	1153	941	882	789
Årlige meromkostninger, kr./DE	600	383	241	177	149	135
Kg N reduceret pr. DE	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret ¹⁾	86	55	35	25	21	19

¹⁾ Inklusiv værdien af sparet kvælstoftab. Kilde: Egne beregninger samt Miljøstyrelsen (2009a) og NIRAS (2009).

Foranstående beregninger er kun gældende for slagtesvin, opstaldet i stier med 33% drænet gulv og 67% spaltegulv. Tabel 3 er således ikke gældende for så vidt angår miljøeffekten ved brug af andre staldd typer til slagtesvin, idet staldd typen har betydning for fordampningen 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 fx 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 fordampning 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.

Biologisk luftrensning (svin / ammoniak og lugt)

Ammoniak

Ved en afprøvning af en 2-trins biologisk luftrenser fra SKOV A/S blev det vist, at luftrensningsanlægget var i stand til at reducere ammoniakkoncentrationen til et niveau mellem 1,2 og 2,4 ppm i afgangsluften. Den biologiske to-trins renser fra SKOV A/S var opbygget med to vertikale filtre på hver 15 cm. Ammoniakkoncentrationen i den urensede staldluft varierede mellem 4,1-9,0 ppm. Der blev således observeret en renseseffekt med hensyn til ammoniak på 50-60% i sommermånederne og 75-85% i vintermånederne (Jensen & Hansen, 2006). Ved en senere afprøvning af en 2-trins biologiske luftrenser fra SKOV A/S fandt Lyngbye & Hansen (2008), at ammoniakkoncentrationen i afgangsluften fra en slagtesvinestald blev reduceret fra 4,0 ppm til 1,0 ppm, svarende til en reduktion på 74%. Luftrenseren blev belastet med en luftmængde svarende til 3191 m³ pr. m² filterfrontareal pr. time. Ved forsøget blev luftmængden til filteret halveret til 1596 m³ pr. m² filterfrontareal pr. time, hvorved ammoniakkoncentrationen blev reduceret fra 4,0 til 0,4 ppm, svarende til en 89% reduktion.

I en senere afprøvning blev en 2-trins biologisk luftrenser fra SKOV A/S kombineret med et vertikalt biofilter bestående af 60 cm knuste trærødder. Ammoniakkoncentrationen blev i gennemsnit reduceret fra 10 ppm til 0,7 ppm svarende til en gennemsnitlig renseseffektivitet på 93%. Hovedparten af reduktionen fandt imidlertid sted allerede ved passage gennem de to første trin, hvor der blev registreret en koncentration på 1,2 ppm svarende til en reduktion på 87% (Riis, 2010a).

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 luftrenser fra Dorset Milieutechniek B.V. blev der målt en reduktion i ammoniakemissionen på 77% (Sørensen, 2011). Den biologiske luftrenser fra Dorset Milieutechniek 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.

I forhold til biologisk luftrensning omregnes der fra en fast slutkoncentration til en aktuel reduktionsprocent ved hjælp af programmet StaldVent (Kai et al., 2007). Se i øvrigt kapitel om delluftrensning for uddybende forklaring af beregningsmetoden.

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), VengSystem (Riis, 2010b).

Ved biologisk luftrensning mangler der kvantitativ viden om, hvad der sker med det frarensede ammoniakkvælstof. Forsøg har vist, at i størrelsesordenen 50% af det frarensede ammoniakkvælstof forlader luftrenseren med lænsevand 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 Miljøstyrelsens teknologiblade om biologisk luftrensning (Miljøstyrelsen, 2011a,b,c) antages det konservativt, at halvdelen af lænsevandets indhold af kvælstof kan udnyttes i marken.

Omkostningseffektivitet

For en biologisk luftrenser med en effektivitet, svarende til en konstant ammoniakkoncentration efter renseren på 2 ppm uafhængigt af koncentrationen før renseren, kan det beregnes at ammoniaktabet fra stald, lager og udbringning reduceres med 0,28 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 10,0 kg N pr. DE ved rensning af al ventilationsluften (100% luftrensning). For delluftrensning, hvor luftrenserens kapacitet er 60% af staldens beregnede maksimale ventilationsbehov, kan det samlede sparede ammoniaktab opgøres til 0,27 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 9,6 kg N pr. DE. Ved 20% delluftrensning kan det samlede ammoniaktab tilsvarende opgøres til 0,21 kg N pr. produceret slagtesvin eller 7,7 kg N pr. DE.

Tabel 4 viser skøn over investeringsbehov, miljøeffekt og omkostningseffektivitet ved anvendelse af biologisk luftrensning. Der er indarbejdet eksempler på 100% luftrensning samt henholdsvis 60% og 20% delluftrensning. For forklaring af dette begreb henvises til nedenstående kapitel, der omhandler dette emne. Der er som for kemisk luftrensning kun regnet på decentral luftrensning, mens central luftrensning ikke er beskrevet yderligere i nærværende dokument.

Beregningerne er kun gældende for slagtesvin opstaldet i stier med 33% drænet gulv og 67% spaltgulv. Tabel 4 er således ikke gældende for så vidt angår miljøeffekten ved brug af andre staldtyper til slagtesvin, idet staldtypen har betydning for fordampningen 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, 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 4. Skøn over investeringsbehov, miljøeffekt 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	4579	4579	4579	4579	4579	4579
Årlige meromkostninger, kr./DE ¹⁾	987	892	863	827	818	810
Kg N reduceret pr. DE	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Omkostningseffektivitet, kr. /kg. N reduceret ¹⁾	98	89	86	83	82	81
60% luftrensning						
Investering, kr. /DE	2747	2747	2747	2747	2747	2747
Årlige meromkostninger, kr./DE ¹⁾	676	570	556	528	513	510
Kg N reduceret pr. DE	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
Omkostningseffektivitet, kr. /kg. N reduceret ¹⁾	71	59	58	55	54	53
20% luftrensning						
Investering, kr./DE	1833	1137	916	916	916	916
Årlige meromkostninger, kr./DE ¹⁾	533	299	239	203	183	183
Kg N reduceret pr. DE	7,7	ur7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
Omkostningseffektivitet, kr. /kg. N reduceret ¹⁾	70	39	31	26	24	24

¹⁾Inklusiv værdien af sparet kvælstoftab. Kilde: Egne beregninger samt Miljøstyrelsen (2011a) og NIRAS (2009).

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, 2012). Dorset Biological Combi Aircleaner er ligeledes blevet optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en effekt i forhold til lugt på 40%. For begge produkters vedkommende er anført, at opførelsen på teknologilisten udløber med udgangen af 2012 som følgende af manglende dokumentation i form af erklæring for gennemførelse af VERA-test.

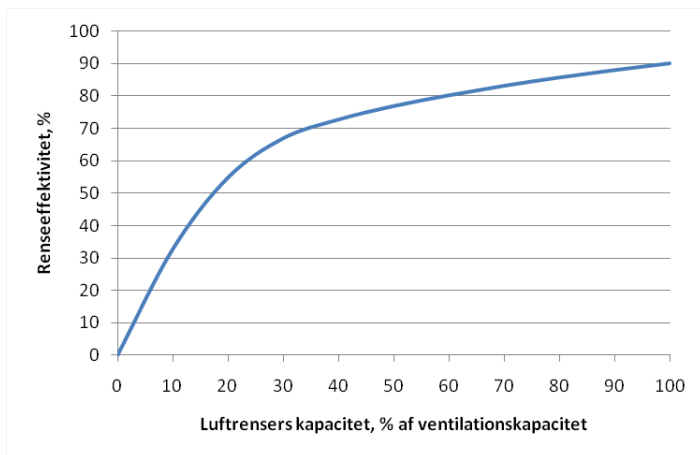
Andre biologiske luftrensere er under udvikling, men kan endnu ikke betragtes som værende klar til udbredt anvendelse. Indledende tests af disse anlæg har vist, at de i varierende omfang har potentiale til at reducere lugt i staldluften. Anlæggene omfatter: CleanTube fra Skiold A/S (Sørensen & Riis,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

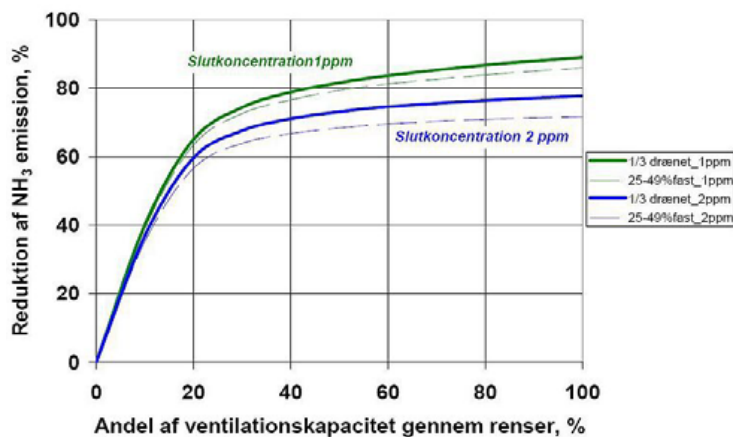
Delluftrensning

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 således at 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.

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 luftrensersens kapacitet sammenlignet med staldens ventilationskapacitet og den samlede reduktion i ammoniakemission fra slagtesvinestalde med drænet gulv. Luftrensere anvender syre til at binde ammoniakken i luften og har en effektivitet på 90% for såvidt angår den del af luften der renses.



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

Gulvudsugning kombineret med luftrensning

Delrensning af ventilationsluft kan yderligere optimeres, hvis luftrensere tilsluttes et gulvudsugningsanlæg 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 luftrensere. Der er på nuværende tidspunkt gennemført to afprøvninger, som indikerer at gulvudsugning kan anvendes til at koncentrere ammoniak og lugt i en lille luftmængde (10-20% af maksimumventilationen), mens koncentrationen af ammoniak og lugt er lav i den resterende normale loftsudsugning (Pedersen et al.,

2010; Pedersen & Jensen, 2010). Det er dog i forbindelse med Miljøstyrelsens teknologiudredningsprojekt vurderet, at teknologien endnu mangler dokumentation, bl.a. som følge af en risiko for, at emissionen af ammoniak og lugt kan stige ved u hensigtsmæssig dimensionering af gulvudsugningsanlægget. Der er et igangværende projekt under GUDP om emissionsforhold ved forskellige former for gulvudsugning med henblik på efterfølgende luftrensning, som skal være med til at afklare dette.

Lugt

Effekten af luftrensning på lugt skal, i modsætning til ammoniak, vurderes direkte på grundlag af luftrensningens kapacitet sammenholdt med staldens ventilationsydelse på det tidspunkt af året, hvor lugtemissionen er højest, hvilket normalt vil være om sommeren, hvor ventilationsydelsen er maksimal.

Gylleforsuring (svin, kvæg / ammoniak)

Svin

Der er tidligere gennemført en afprøvning af gylleforsuring fra Infarm A/S og Staring Makinfabrik A/S, hvor det blev vist at ammoniakemissionen blev reduceret med 70% (Pedersen, 2004). Senest er det blevet vist, at gylleforsuring fra Jørgen Hyldgård Staldservice A/S reducerer ammoniakemissionen med 71% (Pedersen & Albrechtsen, 2012). En kombination af forsuring med svovlsyre og tilsætning af hydrogenperoxid (brintoverilte) med henblik på at opnå en lugtmæssig reduktion er rapporteret afprøvet i en slagtesvinestald (Pedersen, 2007). Sammenlignet med en ubehandlet kontrolstald medførte behandlingen en gennemsnitlig reduktion i ammoniakemissionen på 85%. Det er imidlertid uafklaret, om reduktionen udelukkende kan tilskrives en effekt af svovlsyretilsætningen, som var markant større end tidligere rapporteret, eller om den skyldes en kombineret effekt af svovlsyre og brintoverilte. Der er derfor fremdeles 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 end overstående, herunder delvist fast gulv. I slagtesvinestalde med andre gulvprofiler kan der forventes følgende effekt af gylleforsuring (Tabel 5).

Tabel 5. Forventet reduktion i ammoniakemissionen fra slagtesvinestalde ved anvendelse af gylleforsuring. Reduktioner i % sammenlignet med henholdsvis 33% drænet gulv/67% spaltegulv uden gylleforsuring, 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)

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%.

Gylleforsuring kan ikke anvendes i sostalde med mekanisk udmugningssystem samt i økologiske svinestalde.

Tab under lagring og udbringning

Svovlsyrebehandling af gylle 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 i nedenstående afsnit om udbringning af gylle og de anvendte gennemsnitlige emissionsfaktorer for ammoniak fremgår af Tabel 23.

Med udgangspunkt i ovenstående kan det beregnes, at ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning andrager 9,6 kg N/DE i slagtesvinestalde med 33% drænet gulv og 67% spaltegulv svarende til en reduktion på 13,8 kg N/DE eller netto 59%.

Tabel 6. Skøn over investeringsbehov, årlige driftsomkostninger 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	15333	8333	5400	2900	1933	1632
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	2080	1149	764	458	343	300
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	150	83	55	33	25	22

Kilde: BAT-blad: Svovlsyrebehandling af gylle i slagtesvinestalde (Miljøstyrelsen, 2009b) samt NIRAS (2009).

For gylleforsuring i sostalde andrager ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning 10,9 kg N/DE fra løbe-drægtighedsstalde med delvist spaltegulv og 8,1 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 10,1 kg N/DE fra soholdet, svarende til en vægtet reduktion på 12,6 kg N/DE eller netto 55%. Tabel 7 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i sostalde med delvist spaltegulv.

Tabel 7. 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	15333	8333	5400	2920	2093	1789
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	2121	1190	805	501	399	356
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	169	95	64	40	32	28

Kilde: Egne beregninger samt Miljøstyrelsen (2010b).

For gylleforsuring i smågrisestalde med delvist spaltegulv andrager ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning 8,6 kg N/DE svarende til en reduktion på 10,5 kg N/DE eller netto 55%. Tabel 8 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i smågrisestalde.

Tabel 8. 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	15333	7667	5000	2700	2080	1642
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	2199	1204	844	558	476	420
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	209	114	80	53	45	40

Kilde: Egne beregninger samt Miljøstyrelsen (2010b).

Kvægstalde

Der regnes ligeledes fremdeles med at ammoniakemissionen fra kvægstalde med ringkanalsystem eller bagskylsanlæg med gylleforsuring reduceres med 50% sammenlignet med ingen syrebehandling (Mikkelsen et al., 2006). 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 NH₃-N/DE (stor race) svarende til en reduktion på 7,8 kg NH₃-N/DE eller 41% sammenlignet med ingen gylleforsuring.

Tabel 9. Skøn over investeringsbehov, omkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i kvægstalde med spaltegulv og ringkanal (stor race) med forskellig besætningsstørrelse.

	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investering, kr./DE	8667	4333	2600	1500	1267	1000
Samlede årlige omkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1442	768	498	327	283	243
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	186	99	64	42	36	31

Kilde: Egne beregninger samt (Miljøstyrelsen, 2009c).

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 produktionen af metan fra svovlsyrebehandlet kvæggylle var 90% lavere end den ubehandlede kontrolgylle ved målinger over 100 dage i et såkaldt semi-field anlæg (Petersen og Eriksen, 2008). Hansen (2008) viste ved et laboratorieforsøg, at produktionen af metan fra kvæggylle, lagret i syv uger, var 67% lavere end den ubehandlede kontrolgylle. Forsøgene giver dog ikke grundlag for at præcisere effekten af gylleforsuring, men der kan forventes en markant negativ indvirkning på metanproduktionen under lagring af gylle. Effekten af gylleforsuring på metanemissionen fra svinestalde og lagring af svinegylle er så vidt vides ikke undersøgt, men det forventes, at der er et stort potentiale.

Ved substitution af kvælstof i handelsgødning med sparet ammoniakfordampning i markens gødningsplan kan der forventes en lavere lattergasemission (IPCC, 2006).

Gyllekøling (Svin / ammoniak)

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 drægtighedsstalde eksempelvis afsættes til opvarmning af farestalde (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 ammoniakfordampningen 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). Hollandske forsøg har tidligere vist effektiviteter helt op til 75% reduktion i ammoniakemissionen, men disse forsøg er gennemført ved anvendelse af overfladekøling vha. kølelameller med særdeles stor køleflade, ligesom staldtemperaturerne i forsøgsstaldene generelt var høje. Disse resultater kan derfor ikke anses for realistiske under danske forhold, men angiver dog stadig et potentiale ved gyllekøling.

For køling i stalde med mekanisk udmugning med linespil eller anden mulighed for hyppig mulighed antages det i gældende BAT-blad (Miljøstyrelsen, 2009d), at der kan opnås NH₃-reduktion jf. nedenstående ligning 1:

$$\text{Reduktion (\%)} = -0,008x^2 + 1,5x \quad [1]$$

hvor x = køleeffekt, W/m².

Tilsvarende kan effekten estimeres for stalde med traditionelt gyllesystem med ca. 40 cm. dybe gyllekanaler, jf. ligning 2:

$$\text{Reduktion (\%)} = -0,004x^2 + x \quad [2]$$

Den øvre grænse for gyldigheden af ovenstående ligninger [1] og [2] er ikke afklaret. Det vurderes dog, at mulighederne for afsætning af den indvundne varmeenergi og dermed driftsøkonomien vil være begrænsende for, hvor stor en køleeffekt der i praksis vil blive anvendt.

Reduktionen i ammoniakemissionen fra stalden afhænger af dyrearten og staldsystemet såvel som af køleeffekten. Tabel 10 angiver hvor meget ammoniakkvælstof, der spares ved etablering af gyllekøling 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 2011/2012. Løbe-/drægtighedsstalde til løsgående søer omtales i den videre tekst som drægtighedsstalde.

Tabel 10. Beregnet tab af NH₃-N fra stald, lager samt sparet N-tab ved gyllekøling i svinestalde, kg. NH₃-N pr. DE.

	Køleeffekt, W/m ²						
	0	10	20	30	Sparet		
	Samlet tab	Samlet tab	Sparet tab	Samlet tab	Sparet tab	Samlet tab	Sparet tab
Drægtighedsstalde, delv. spaltegulv, linespil	25,1	23,3	1,8	21,7	3,3	20,3	4,7
Smågrise, toklimastalde	20,1	19,5	0,5	18,8	1,0	18,3	1,4
Slagtesvin, 25-49% fast gulv	23,4	22,3	1,0	21,3	1,9	20,4	2,7
Slagtesvin, 50-75% fast gulv	20,4	19,6	0,7	18,8	1,4	18,1	2,0

Grundlag: Normtal 2011/2012. Referencen er samme staldtype uden gyllekøling.

Det anslåede investeringsbehov, miljøeffekt samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gyllekøling i sotalde og slagtesvinestalde er baseret på økonomiske analyser udarbejdet af NIRAS (NIRAS, 2009) og Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2010c), se Tabel 11. Investeringsbehovet afhænger af staldanlæggets opbygning og af evt. tilknyttede faciliteter, der kan aftage varmen fra anlægget. Evt. tilkobling til disse er ikke indregnet i kalkylen. Anskaffelse og drift af kalorifere til udledning af evt. overskydende varme til atmosfæren er ligeledes ikke indregnet i nærværende kalkule.

Tabel 11. Anslået investeringsbehov ved etablering af gyllekøling i svinestalde, kr. pr. DE.

	Køleeffekt W/m ²	Dyrenheder, DE					
		75	150	250	500	750	950
Drægtighedsstald, delv. spaltegulv, linespil	10	1813	1340	1072	896	936	936
	20	1960	1547	1296	1220	1249	1249
	30	2173	1860	1628	1404	1431	1432
Smågrise, toklimastald	10	1147	887	652	524	484	438
	20	1240	960	756	634	631	597
	30	1373	1067	912	796	719	686
Slagtesvin, 25-49% fast gulv	10-30	1117	1117	942	582	942	942
Slagtesvin, 50-75% fast gulv	10-30	1117	1117	942	582	942	942

Kilde: Slagtesvin: NIRAS (2009), Søer og smågrise: Miljøstyrelsen (2010c).

Gyllekøling er forbundet med et energiforbrug til drift af varmepumpe og cirkulationspumpe. Tabel 12 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.

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. Når al den indvundne varme nyttiggøres, viser analysen, at der for alle staldtyper er tale om et positivt afkast af investeringen.

Tabel 12. Anslået energiforbrug og -omkostninger ved gyllekøling i svinestalde.

	Energiforbrug, kWh/DE pr. år			Omkostninger til el, kr./DE pr. år		
	10	20	30	10	20	30
Køleeffekt, W/m ²						
Slagtesvin, 25-49% fast gulv	184	368	552	154	307	461
Slagtesvin, 50-75% fast gulv	92	184	276	77	154	230
Smågrise, toklimastald	157	314	472	131	263	394
Drægtighedsstald, delvist spaltegulv, linespil	472	944	1416	394	788	1182

Kilde: Omkostninger: Kai (2009) og NIRAS (2009).

Sobesætninger kan i højere grad end slagtesvinebesætninger afsætte den indvundne varme internt i produktionsanlægget fx i farestalde og smågrisestalde. Det er muligt at benytte den indvundne varme til bl.a. opvarmning i stalde, driftsbygninger, stuehus, vådfoderanlæg, vaskevand og korn-tørningsanlæg.

Tabel 13. Gennemsnitlig omkostningseffektivitet ved gyllekøling i svinestalde, kr. pr. kg sparet ammoniakkvælstof inkl. værdien af sparet N-tab. Tal i parentes angiver variationsbredden 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	-204 (-171 - -218)	-242 (-227 - -248)	-267 (-257 - -272)	-52 (-29 - -63)	-74 (-62 - -79)	-84 (-76 - -88)
0% varmeudnyttelse	280 (266 - 313)	271 (265 - 285)	279 (274 - 289)	109 (99 - 133)	97 (92 - 109)	97 (94 - 106)
	Slagtesvinestalde, 25-49% fast gulv			Slagtesvinestalde, 50-75% fast gulv		
	10	20	30	10	20	30
Køleeffekt, W/m ²						
100% varmeudnyttelse	-95 (-75 - -127)	-147 (-137 - -164)	-170 (-163 - -182)	-4 (-48 - 23)	-70 (-56 - -93)	-96 (-86 - -112)
0% varmeudnyttelse	243 (211 - 263)	206 (189 - 216)	198 (187 - 205)	229 (184 - 256)	173 (149 - 187)	157 (141 - 167)

Kilde: Egne beregninger samt NIRAS (2009) og Miljøstyrelsen (2010c)

Dimensionering af gyllekøling

Ved dimensionering af gyllekølingsanlæg skal der overvejes en række forhold herunder antal kvadratmeter gylleareal, der ønskes kølet, størrelsen af varmepumpen, varmebehov i andre dele af produktionsanlægget og privatbeboelse. Som udgangspunkt kan det antages, at en varmepumpe opererer med en COP-værdi¹ på 3. Det vil sige at for hver kWh strøm der forbruges, genereres der ca. tre kWh varme, idet differencen er at betragte som køleeffekten, dvs. der køles ca. med den dobbelte effekt af el-optaget. Ydermere skal varmepumpens driftstid tages i betragtning. På dette grundlag kan man dimensionere sit gyllekølingsanlæg.

Et eksempel: en landmand ønsker at benytte gyllekøling i sin stald svarende til 1000 m² gyllekanal. Der ønskes opnået en køleeffekt på 10 W/m² svarende til et samlet kølebehov på (1000 m² x 10 W) = 10.000 W eller 10 kW. Hvis der regnes med en varmepumpe med en COP¹-værdi på 3, skal der som minimum anvendes en varmepumpe med et el-optag på (10/2 kW) = 5 kW. Varmepumpen vil så ved konstant drift generere varme svarende til (5 kW el + 10 kW køl) = 15 kW. Hvis varmepumpen imidlertid er større end de 15 kW, fx 20 kW, kan køleeffekten ved konstant drift beregnes til 13 W/m². Da ønsket imidlertid er 10 kW/m² skal varmepumpen således kun være i drift ca. $(8760 \times 10/13) = 6738$ timer pr. år eller ca. 75% af tiden for at opnå den ønskede køleeffekt.

Drivhusgas

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 (kvægstalde / ammoniak)

Fæces og ajle, der befinder sig oven på spaltegulves bjælker bidrager i betragtelig grad til ammoniakfordampning i kvægstalde.

Ved skrabning af spaltegulvets overflade med enten en stationær skraber eller en robotskraber 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 hyp-

¹ COP, Coefficient of Performance, angiver forholdet mellem energi-output og -input.

pig 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 linespilsanlæg – alle sammenlignet med samme staldtype uden spaltegulvsskrabere. Selvom det empiriske grundlag for en fastsættelse af miljøeffekten af spalteskrabere hviler på et tyndt 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 linespilsanlæg andrager 1,9 kg NH₃-N pr. DE for stor race.

Tabel 14 angiver anslåede driftsomkostninger og økonomisk miljøeffektivitet ved etablering og drift af spaltegulvsskrabere i sengebåsestalder med spaltegulv (ringkanal, bagskyl, kanal med linespil).

Tabel 14. Skøn over investeringsbehov, driftsomkostninger 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.	82.660	83.460	94.740	189.480	284.220	358.960
Investering, kr./DE	1295	661	448	448	448	447
Samlede årlige omkostninger, kr./DE inkl. værdien af N	263	131	87	87	87	87
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N	139	69	46	46	46	46

Robotskrabere	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investering, kr.	110.000	110.000	110.000	110.000	220.000	220.000
Investering, kr./DE	1723	871	520	260	347	274
Samlede årlige omkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	241	130	85	51	63	53
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N	127	69	45	27	33	28

Kilde: Genberegnet efter Miljøstyrelsen (2010a), da nærværende kalkule medregner tab under udbringning.

Teknologien er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste og kan benyttes ved ansøgning om miljøgodkendelse af husdyrproduktion.

Ifølge et teknologiblad (Miljøstyrelsen, 2010a) vurderes det, at der er etableret anlæg til spaltegulvsskrabning i ca. 1200 kvægstalde svarende til 50 pct. af kvægstalde med spaltegulv (2200) eller ca. 37 pct. af alle kvægstalde (3200).

Etagesystem med gødningsbånd (fjerkræ / ammoniak)

Etagestalde er skrabeægsstalde, hvor der i tillæg til gulvarealet etableres plateauer i op til to højder over gulvet (heraf navnet etagesystem eller etageanlæg), som hønsene kan opholde sig på. Foder- og vandforsyning samt redekasser forefindes på plateauerne. Under hvert af plateauerne er der monteret et gødningsbånd. Det antages, at 75 pct. af gødningen falder på gødningsbåndene som ved hyppig drift bevirker, at hovedparten af gødningen fjernes fra stalden til ekstern lagring eller anvendelse, inden nedbrydningen af gødningens indhold af urinsyre til ammonium og ammoniak for alvor tager fart. Gulvarealet tilføres strøelse og fungerer som hønsenes skrabeområde. Det antages, at 25 pct. af gødningen afsættes i dybstrøelsesarealet på gulvet, hvor gødningen henligger, indtil stalden tømmes, dvs. ca. én gang årligt, når stalden tømmes for høns. Etagesystemet kan benyttes ved produktion af skrabeæg, frilandsæg og økologiske æg. For stalde med udearealer regnes der med, at 10% af gødningen falder udenfor stalden. Ved beregning af ammoniaktab skal der korrigeres herfor. Nærværende kalkyle har taget udgangspunkt i en skrabeægsproduktion med en maksimal belægningsgrad på 9 høner pr. m² nytteareal.

Ammoniak

Ved tømning af gødningsbåndene tre gange ugentligt kan ammoniaktabet fra stald, lager og udbringning estimeres til 19,5 kg N pr. 100 årshøner eller 32,4 kg N pr. DE (Tabel 1), hvilket sammenlignet med referencesystemet *gulvsystemet med gødningskælder* giver anledning til en samlet sparet fordampning på 32,9 kg NH₃-N pr. DE fra stald, lager og udbringning svarende til en reduktion på 50 pct. Tabel 15 angiver skønnet nettoinvesteringsbehov, driftsomkostninger, miljøeffekt og omkostningseffektivitet for etagesystemet i skrabeægsproduktionen sammenlignet med gulvsystemet. Nettoinvesteringsbehovet omfatter gødningsbånd og slats, hvilket udgør miljøteknologien. Fodrings- og vandsystemer samt redekasser er fratrukket. Der er ikke indregnet evt. meromkostninger til opbevaring af staldgødningen.

Tabel 15. Skøn over øget investeringsbehov, driftsomkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af etagesystem i skrabeægsproduktion. Beregningseksempel 100 DE og tømning af gødningsbånd tre gange ugentligt.

	I alt	Pr. årshøne	Pr. DE
Investeringsbehov (gødningsbånd og slats), (kr.)	1.100.000	66	11.000
Forrentning og afskrivning (5%, 15 år), (kr./år)	105.893	6,38	1.059
Vedligeholdelse (kr./år)	18.565	1,12	186
Arbejde (kr./år)	1718	0,10	17
El (kr./år)	840	0,05	8,40
Årlige omkostninger i alt ekskl. sparet N (kr./år)	127.016	7,65	127
Sparet N-udledning (kg N/år)	3290	0,20	32,9
Værdi af sparet N-udledning (6 kr./kg N)	19.738	1,19	197
Årlige omkostninger i alt inkl. værdi af sparet N, kr./år	107.278	6,46	1073
Omkostningseffektivitet, kr./kg N, inkl. værdi af sparet N	33		

Økonomital: Miljøstyrelsen (2010d), Miljøstyrelsen (2011d,e) samt Dansk Landbrugsrådgivning, Fjerkræ (Jens Elvstrøm og Palle Vinstrup, begge Videncentret for Landbrug, pers. medd. 2011).

Etagesystemet er nyt i Danmark og Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Fjerkræ (Jens Elvstrøm, pers. medd. 2011) skønner, at der kun er bygget få stalde.

Daglig tømning af gødningsrender i minkhaller (mink / ammoniak)

For at nedsætte tabet af næringsstoffer til omgivelserne ved udvaskning og ammoniakfordampning er der i Miljøstyrelsens bekendtgørelse nr. 607 af 15. juli 2002, den såkaldte *pelsdyrfarmbekendtgørelse*, stillet krav om, at gødningen, herunder også urinen, skal opsamles og føres til gødningsanlæg. Dette krav anses for opfyldt, hvis pelsdyrhaller konstrueres og drives i overensstemmelse med husdyrgødningsbekendtgørelsens bestemmelse for stalde til andre dyrearter, dvs. med tæt gulv og tætte rørsystemer til opsamling af flydende gødning.

I en vejledning til pelsdyrfarmbekendtgørelsen (Skov- og Naturstyrelsen, 2004) beskrives der 10 valgmuligheder med forskellige kombinationer af rendebredder, udmugningshyppigheder, tilførsel af halm under burene og proteinindhold i foderet, hvorved kravet om et maksimalt tab på 1,65 kg ammoniak-N per årstæve anses for opfyldt (Tabel 16).

Tabel 16. Oversigt over metoder til opfyldelse af ammoniakkrav i henhold til pelsdyrfarmbekendtgørelsen.

Rendebredde	Hyppighed af udmugning i renden	Tilførsel af halm	Proteinindhold i % af OE (uge 30 – 47)
over 36,5 cm	1 gang om ugen	halm ad lib.	ingen krav
over 32 cm	1 gang om ugen	halm ad lib.	32%
over 32 cm	1 gang om ugen	ingen krav	31%
over 32 cm	2 gange om ugen	ingen krav	ingen krav
over 32 cm	1 gang om ugen	halm ad lib + 0,2 kg	ingen krav
over 28 cm	Dagligt	ingen krav	ingen krav
over 28 cm	2 gange om ugen	halm ad lib.	ingen krav
over 28 cm	2 gange om ugen	ingen krav	32%
over 28 cm	1 gang om ugen	halm ad lib.	31%
over 28 cm	1 gang om ugen	halm ad lib. + 0,2 kg	32%

Kilde: Skov- og Naturstyrelsen (2004).

Der er i Skov- og Naturstyrelsens vejledning anvendt følgende vurderinger af effekten ved de forskellige virkemidler:

1. 1 cm ændret rendebredde giver +/- 0,025 kg N mindre/større tab per årstæve.
- 2. I forhold til ugentlig tømning giver 2 gange/uge 0,15 kg mindre og daglig tømning 0,3 kg N mindre per årstæve.**
3. Tilførsel af 0,2 kg halm udover halm ad lib. reducerer tabet 0,05 kg N per årstæve.
4. Forskellen mellem halm ad lib og ingen krav til halm under burene ansættes til 0,1 kg N per årstæve
5. For hver %-enhed proteinindholdet i % af OE i perioden uge 30-47 reduceres tabet med 0,03 kg N per årstæve (basis 33 pct).

Pedersen og Sandbøl (2002) foretog på baggrund af en forsøgsrække en regressionsanalyse med henblik på at beskrive sammenhængen mellem tømningshyppighed af hhv. gødning og strø, temperatur samt dyrenes kropsvægt. Resultatet af analysen er vist i formel [3]:

$$A = a + bt_g^{0,5} + cT + dT^2 + eTt_g^{0,5} + fw + gTS + hTt_s \quad [3]$$

hvor A = ammoniakemission, g $\text{NH}_3/24$ timer pr. dyr; t_g = tid efter sidste tømning i dage; T = temperatur i °C, t_s = tid efter udskiftning af strøelse under burene i dage; w = kropsvægt i kg; S er tilstedeværelse af strøelse under burene (0=ingen halm; 1= halm); samt a, b, c, d, e, f, g, h = regressionskoefficienter.

Med baggrund i ovenstående viser Pedersen og Sandbøl (2002), at daglig tømning af gødningsrender sammenlignet med ugentlig tømning medfører, at ammoniakemissionen reduceres med hhv. 25% ved 6°C og 46% ved 16°C. Pedersen og Sandbøl (2002) indikerer således, at daglig tømning giver anledning til større reduktion end de tidligere nævnte 0,3 kg N.

I rapporten "Evaluering af det generelle ammoniakkrav" (Aaes et al., 2008) er anført, at ammoniakemissionen fra "stalden" ved daglig tømning i minkhaller med gødningsrender er 8 procentpoint lavere end ved ugentlig udmugning. Med udgangspunkt i normtal 2011/2012 giver dette en ammoniakemission fra stald, lager og udbringning på 84,2 kg N/DE. Sammenholdt med ugentlig tømning af gødningsrenderne giver dette sparet ammoniaktab på 12,4 kg N/DE.

Systemer til automatisk tømning af gødningsrender på minkfarme

Mink afsætter fæces bagest i buret over gødningsrender. Urin afsættes ligeledes hovedsageligt bagest i buret, men dog ikke helt så konsistent som fæces. En vis andel bliver således ikke opsamlet i gødningsrenderne men bliver opsamlet i halm der henligger under burene.

Gødningsrenderne tømmes ved, at gyllen skubbes hen til en faldstamme, der er forbundet med et lukket udslusningssystem til en fortank eller pumpe, hvorefter det føres til lagertank. Dette kan gøres manuelt eller mekanisk. Manuel tømning er arbejdskrævende og kan således vanskeligt forenes med hyppig tømning af gødningsrenderne. Der er imidlertid udviklet mekaniske systemer, der kan anvendes ved hyppig tømning af gødningsrenderne. Der findes pt. to systemer til automatisk tømning af gødningsrender: Farmcat (GVA a/s) og wiretræk (Columbus Agua Vakuum).

Et Farmcat-anlæg fra GVA består af en skraber, en batteridrevet motor til drift af skraberens samt en styringsenhed. Farmcatten kører på kanten af gødningsrenden og skubber gødningen foran sig frem til en faldstamme for enden af gødningsrenden. Når gødningen er skubbet ned i faldstammen, kører Farmcatten tilbage til udgangspositionen for opladning af batteriet. Farmcat'en kan programmeres til forskellige tømningshyppigheder samt til ikke at køre i perioder med frostvejr, idet frossen minkgødning kan beskadige udstyret. En enhed består af en skraber, der skubber gødningen i én rende. Regler om brandsikring stiller krav om flugtvej for hver 50 meter, hvilket således angiver den maksimale længde af en gødningsrende. Farmcat kan kun monteres på gødningsrender fra firmaet GVA a/s.

Et system med wiretræk med automatik fra Columbus Agua Vakuum består af motor, som typisk trækker en wire med en række skraber over to enheder af gødningsrender. Ved at køre frem og tilbage trækkes gødningen i gødningsrenderne gradvis frem mod en faldstamme. Systemet kan i princippet etableres på alle typer af gødningsrender, idet det kun er formen på skraberne der skal tilpasses. Wiretræk kan startes både automatisk og manuelt. Senest er systemet udviklet til at kombinere automatik og vakuumanlæg. Anlægget kan indstilles til forskellige tømningshyppigheder. Længden af hver gødningsrende er begrænset til 50 meter grundet tidligere nævnte krav. Som udgangspunkt er derfor regnet med, at der skal etableres en enhed for hver 2 x 50 meter gødningsrende.

Tabel 17 angiver driftsøkonomiske nøgletal for to mekaniske systemer til hyppig tømning af gødningsrender på minkfarme.

Tabel 17. Skøn over investeringsbehov, driftsomkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af mekanisk, hyppig tømning af gødningsrender på minkfarme (75 – 250 DE).

	Farmcat	Wiretræk
Investeringsbehov, kr./DE	5818 - 5874	9680 - 9736
Forrentning (5%) + afskrivning (10 år) , kr./år pr. DE	753 -761	1254 - 1261
Drift og vedligeholdelse, kr./år pr. DE	537	124
Sparet arbejdskraft, kr./år pr. DE	228	228
Årlige omkostninger i alt ekskl. sparet N, kr./år	1063 - 1070	1150 - 1157

Kilde: Henrik Bækgaard, København Fur, pers. medd. 2010)

Høje skorstene (svin og fjerkræ / lugt)

Det tidligere Danmarks Miljøundersøgelser har udviklet simuleringsprogrammet OML-Multi (operationel meteorologisk luftspredningsprogram) til beregning af forureningskoncentrationer i miljøet omkring virksomheder. 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).

Fast overdækning af gyllebeholder (Svin, kvæg, mink / ammoniak)

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 ammoniakfordampningen 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 ammoniakfordampningen (Tabel 18).

Tabel 18. Emissionsfaktorer for ammoniak fra gyllelagre med eller uden overdækning. Fordampningen er vist som tab af ammoniak (NH_3) i procent af indholdet af henholdsvis total-N og TAN af stald.

	Svinegylle		Kvæggylle		Minkgylle	
	Total-N	TAN ¹⁾	Total-N	TAN ¹⁾	Total-N	TAN ¹⁾
Intet flydelag	9	11,4	6	10,3	9	12,9
Naturligt flydelag	2	2,5	2	3,4	2	2,9
Flydedug	1,5	1,9	1,5	2,6	1,5	2,1
Teltoverdækning	1	1,3	1	1,7	1	1,4
Betondæk	1	1,3	1	1,7	1	1,4

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

De fleste af ovenstående angivelser af ammoniakfordampning er baseret på danske undersøgelser. Imidlertid er der ikke lavet en undersøgelse af teltoverdækning, og derfor er ammoniakreduktionen baseret på et skøn.

Ifølge Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2010e) 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.

Beskrivelse af teknikkerne

Flydedug

En flydedug ligger direkte på gylleoverfladen, og kan være udført med en ombukket kant langs beholderkanten. Den ombukkede kant kan være udført på en sådan måde, at det er muligt at opsamle en mindre mængde regnvand.

Teltverdækning

En teltverdækning er en tæt overdækning af kunststof, der udspændes som et telt over beholderen. Gyllebeholderen forsynes med en høj centermast af metal eller træ. Masten monteres lettest, hvis beholderen er tømt og rengjort, men nogle leverandører af teltverdækninger kan også montere masten og overdækningen, mens der er gylle i beholderen. Teltdugen spændes ud imellem masten og beholderens elementer. Dugen bør holdes fri fra beholderkanten, ellers udsættes dugen for stor slitage.

Der frigives svovlbrinte fra gyllen. Svovlbrinte sammen med kondens på dugens underside og ilt fra luften danner svovlsyre, der kan angribe betonen. For at undgå at der drypper kondensvand på betonelementernes indvendige side kan der monteres et ”skørt” på indvendig side af teltdugen. Det indvendige ”skørt” vurderes at være tilstrækkelig sikring mod nedbrydning af betonen og der er således ikke behov for ekstra kontrol af beholderen. Åbninger til omrøring og tømning kan udføres i forskellig størrelse afhængig af brugerens ønske. Der er dog ingen producenter, som laver åbninger større end ca. 3,0x6,0 m. Det ville svække selve dugen, hvis åbningen udføres større. Placering, antal og størrelse på åbningerne bestemmes individuelt.

Betondække

Et betondæk er typisk understøttet af en eller flere betonsøjler afhængig af beholderens diameter. Betondæk anvendes hovedsageligt til mindre beholdere, da prisen ved store beholdere er meget høj.

Flydebrikker

Flydebrikker er opbygget som en sekskantet plade og er fremstillet af et plastmateriale. Flydebrikker er udviklet til at forme en flydende overdækning til gyllebeholdere, hvor der ikke dannes et naturligt flydelag. Flydebrikker danner en overflade af elementer, der tilsammen dækker hele gylleoverfladen.

Da flydebrikker flyder på en væskeoverflade, vil de selvfølgelig være påvirket af vind og vejr. Ved stor vindhastighed vil flydebrikker presses sammen i ”klumper”, og der vil opstå et uafdækket areal på gylleoverfladen. Det generelle billede er, at det er mest kritisk for beholdere større end 20 m i diameter. Der kan dog opstå periodiske åbninger på mindre beholdere. Flydebrikker bør tilsættes i vindstille vejr, og når der er gylle i beholderen. Væskeoverfladen bør fremstå flydende og fri for naturligt flydelag. Flydebrikkerne vil i løbet af kort tid fordele sig i et dækkende mønster.

Letklinker

Tæt overdækning kan som nævnt etableres ved, at gyllelageret tilføres et overdækningslag bestående af letklinker. Letklinker består af tusinde små lukkede, luftfyldte celler, hvor cellevæggene er

hårdtbrændte tegl. Hvis der slipper enkelte korn med ud ved tømning af beholderen, sker der ikke noget ved det, da letklinker vurderes til at have jordforbedrende egenskaber. Der skal anvendes ca. et 10 cm tykt lag letklinker. Der vil normalt være behov for efterfyldning af letklinker efter tømning af gyllebeholderen. Der kan normalt regnes med en efterfyldning på ca. 10% af flydelagets tykkelse. Letklinker bør tilsættes i vindstille vejr, og når beholderen er tom. I løbet af ca. 14 dage vil letklinkerne "kitte" sig sammen i forbindelse med gyllen. For at flydelaget af letklinker kan opnå så lang en levetid som muligt, er det vigtigt at de bundfældende sedimentter i gyllen røres op og pumpes ud ved så fyldt en gyllebeholder som muligt. Herved mindskes behovet for omrøring væsentligt, når den sidste gylle skal pumpes op, og dermed også risikoen for at flydelaget af letklinker pumpes med. For at undgå at letklinker pumpes over i gyllevognen, som kan medføre tilstopning af slanger på gylleudlæggeren, skal man være meget opmærksom på pumpekapaciteten. Overdækningen kræver løbende tilsyn, og der kan være behov for efterfyldning.

Driftsomkostninger

Da der ikke gives tilskud til miljøteknologier med henblik på at overholde et eksisterende lovkrav, kan der ikke opnås tilskud til indkøb af flydedug, flydebrikker og letklinker. Disse teknikker kan i øvrigt heller ikke siges at have væsentlig anderledes miljøeffekt end et naturligt flydelag. Teltoverdækning og betondække vil derimod reducere miljøbelastningen mere end loven stiller krav om, og derfor vurderes det at kun teltoverdækning og betondække opfylder kriterierne for tilskud.

Teltoverdækning

Der er kun foretaget beregninger for teltoverdækning, da betondæk vurderes at være en urealistisk dyr miljøteknologi. 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, 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 ammoniakfordampningen langt mere end selve overdækningen.

Table 19. Skøn over økonomiske konsekvenser ved anvendelse af teltoverdækning.

Antal DE	Slagtesvin			Mink	
	75	250	950	75	250
Samlede meromkostninger pr. kg N reduceret inkl. værdi af sparet handelsgødning ved teltoverdækning	127	60	56	278	166

Kilde: Miljøstyrelsen (2010e)

Tallene i ovenstående tabel bygger på udregninger foretaget i forbindelse med en teknologibeskrivelse af opbevaring af gylle (Miljøstyrelsen, 2010e). 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 – bl.a. fordi generne i høj grad afhænger af den konkrete lokalisering. Der er derfor ikke foretaget miljøøkonomiske beregninger.

Udbringning af husdyrgødning

I forbindelse med udbringning af gylle og fast gødning, kan der ske en betydelig emission af ammoniak og lugt. Emissionen er afhængig af gødningstype, klimatiske forhold, udbringningstidspunkt samt håndterings- og udbringningsteknologi. Emissionen afhænger endvidere af gødningens fysiske og kemiske sammensætning og af gødningens overfladeareal efter udbringningen. Emissionen kan derfor begrænses ved at ændre gødningens sammensætning, samt ved at benytte optimal udbringningsteknologi. Udbringning i bånd (slæbeslangeudlægning) og specielt indarbejdning i jordfasen (nedfældning) begrænser emissionen, men kan samtidig have uheldige bivirkninger i form af højere energiforbrug, lav kapacitet, skader på afgrøde og højere potentiale for drivhusgasemission i form af øget lattergas emission. Over 90% af gødningen fra danske husdyr håndteres som gylle ved udbringning. I det følgende vil der primært blive fokuseret på udbringning af gylle.

Ca. 73% af den ubehandlede svinegylle udbringes i dag med slæbeslanger, mens den resterende mængde nedfældes. For kvæggylle er det kun ca. 19%, der overfladeudbringes, mens resten nedfældes enten på græs eller på sortjord (Bilag 2). Nedfældning på marker før afgrøden er etableret (sortjord) og nedfældning i græsmarker er en udbredt teknologi. Derfor er det ikke muligt at søge støtte til indkøb af denne type teknologi. Til gengæld er nedfældning i voksende kornafgrøder en metode, som i dag ikke anvendes i praksis. Der er dog udviklet maskiner til bl.a. dette formål, der-

for indgår teknologien i denne støtteordning. Miljøeffekterne og omkostninger forbundet med nedfældning i vintersæd, vil blive beskrevet nedenfor.

I 2010 og 2011 er teknikker til forsuring af gylle i lager og ved udbringning blevet udviklet og nogle af dem også afprøvet. Effekt af forsuring i stalden er allerede beskrevet ovenfor på side 16, og her skal det bare tilføjes, at der i 2010 blev gennemført en stor undersøgelse for at belyse effekten af staldforsuring på ammoniaktabet ved udbringning. På baggrund af denne undersøgelse er emissionskoefficienterne for denne teknologi blevet opdateret.

Nedfældning af gylle

Ammoniakfordampning

Nedfældning begrænser ammoniakfordampningen af 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 ammoniakfordampningen forløbe over lang periode på op til 3-10 døgn. Reduktionen af ammoniakfordampning ved nedfældning i vintersæd med kommercielle teknologier er ikke dokumenteret tilstrækkeligt. Dog har et forsøg, udført på forskningscenter Foulum i 2010, vist en emissionsreduktion ved nedfældning i vintersæd på ca. 50% (Upubliceret data). Så vidt vides er der ikke gennemført emissionsforsøg med nedfældning af minkgylle. Det vurderes dog at emissionskoefficienterne og reduktionseffektiviteten er identisk for kvæg- og minkgylle. Den gennemsnitlige ammoniakfordampning fra gylle, udbragt med henholdsvis slæbeslanger og nedfældning, er vist i Tabel 20.

Tabel 20. Gennemsnitlig fordampning af ammoniak fra svine- og kvæggylle udbragt i foråret til vintersæd 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 vægtet efter hvor meget gylle der udbringes i de forskellige måneder i løbet af året (Bilag 2). Der findes ikke opgørelser over ammoniaktabet fra udbragt minkgylle, men det vurderes at svare til ammoniaktabet fra udbragt kvæggylle.

	NH₃ tab, % af udbragt total N	
	Svinegylle	Kvæggylle
Slangeudlagt	11,5	15,4
Nedfældning i vintersæd	5,8	8,1

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 vintersæd normalt ske en så øverlig placering af gyllen, at lugtreduktionen

bliver mindre end i de ovenstående undersøgelser. Dette betyder, at nedfældning i korn har en lavere effekt på lugtgenen af gylleudbringningen end eksempelvis sortjordsnedfældning.

Drivhusgasser

Idet nedfældning af gylle begrænser fordampningen af ammoniak vil nedfældningen isoleret set føre til en begrænsning af emissionen 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 fører til produktion af lattergas. Dette betyder, at nedfældning samlet set øger emissionen af lattergas fra landbrugsjord. En række undersøgelser har således vist, at udledningen af lattergas fra nedfældet gylle 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 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 studier 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 det er meget usikkert hvor stor effekt nedfældning reelt har på drivhusgasudledningen.

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 overlig 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 har anslået en merpris på nedfældning i forhold til slangeudlægning ved normal doseringsmængde (30-40 tons/ha), på 7 kr. pr. ton gylle i vintersæd.

Tabel 21. Anslåede meromkostninger ved nedfældning af gylle i vintersæd i forhold til udbringning med slæbeslanger.

	Svinegylle	Kvæggylle
Nedfældning i vintersæd		
Meromkostning, kr. pr. ton gylle	7	7
Udbringning, tons pr. ha	30	39
Afgrødeskade ved ekstra kørsel	170	170
Meromkostning, kr. pr. ha	380	443

For at udregne omkostninger pr. kg. reduceret N, omregnes den procentvise reduktion til kg N/ha som er angivet i Tabel 22.

Tabel 22. Reduceret ammoniakemission ved nedfældning i vintersædsmarker ved udbringning af 140 kg total N/ha og 170 kg total N/ha for hhv. svine- og kvæggylle. Baggrund for emissionskoefficienter kan ses i bilag 2.

	Svinebedrift	Kvægbedrift
Slæbeslangeudbringning		
Emissionskoefficienter (tab i kg/ha)	8,7 (12,2)	9,0 (15,3)
Nedfældning i vintersæd¹⁾		
Emissionskoefficienter (tab i kg/ha)	6,3 (8,8)	8,5 (14,5)
Reduceret emission	3,4	0,8

¹⁾ Nedfældning i vintersæd forekommer ikke i dag i praksis, derfor er der her tale om en tænkt situation, hvor den gylle, der tildeles vintersæd, bliver nedfældet.

Omkostningseffektivitet for nedfældning i vintersæd

Med kørsel med en 12-16 m bred gyllenedfælder sættes omkostningerne til forøget køreskade til 2%. Ved et normaludbytte på 85 hkg og en afgrødepris på 100 kr./hkg svarer det til 170 kr./ha. Dermed bliver de forøgede omkostninger 380 kr./ha og 443 kr./ha for hhv. svine- og kvægbedrifter, som angivet i Tabel 21. Den mængde kvælstof, som ikke fordampes fra gyllen til luften, forudsættes at blive udnyttet 100% til øget afgrødevækst. Værdien af kvælstoffet sættes til 6 kr. pr. kg N, da dette er substitutionsprisen ved indkøb af handelsgødning. Det vurderes at nedfældning i vintersæd reducerer emissionen fra svine- og kvægbedrifter med hhv. 3,4 kg/ha og 0,8 kg/ha ved tildelelse af gylle fra hhv. 1,4 og 1,7 DE (Tabel 22).

Dermed bliver de driftsøkonomiske omkostninger 380 kr. per ha – (3,4 kg N/ha * 6 kr.) = 359 kr./ha for svinebedrifter svarende til 359 kr. pr. ha/3,4 kg N pr. ha = 105 kr./kg N sparet.

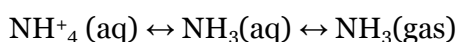
På kvægbrug er omkostningerne 443 kr. per ha – (0,8 kg N /ha* 6 kr.) = 438 kr. /ha. svarende til 438 kr. pr. ha /0,8 kg N pr. ha = 547 kr./kg N sparet.

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 den konkrete lokalisering. Ligeså er den potentielt øgede lattergasemission ikke med taget i disse beregninger som tidligere nævnt. Det øgede traktormotor effektbehov i forbindelse med nedfældning er en del af prisforskellen på 7 kr./ton udbragt gylle og skal derfor ikke medregnes særskilt.

Forsuring af gylle

Ammoniakfordampning

Normalt forefindes mellem 50 og 85% af kvælstofindholdet i gylle på ammoniumform (NH₄⁺). Ammonium vil normalt forefindes på vandig opløsning (NH₄⁺) (aq), som vil stå i kemisk ligevægt med ammoniakindholdet i opløsning (NH₃) (aq) og ammoniakindholdet på gasform (NH₃) (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 til under pH 6,5 (dette pH niveau er bestemt af Miljøstyrelsens teknologiliste (Miljøstyrelsen, 2012)).

Forsuring af gylle ved udbringning kan ske på to måder: 1) tildele svovlsyre i lagertanken umiddelbart før udbringning (herefter benævnt tankforsuring) eller 2) forsuring på gyllevognen under udbringning af gylle på marken (herefter benævnt markforsuring). 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 en forsuring til pH 6,5 eller lavere. Der findes en publikation der beskriver effekten på ammoniakfordampningen af markforsuring (Nyord et al., 2010), men ingen der beskriver effekten af tankforsuring. Når den alligevel medtages på denne liste skyldes det, at effekten på ammoniaktabet i marken ved at sænke gyllens pH til 6,5 eller lavere er veldokumenteret. Det vil sige, at det ”kun” bør dokumenteres, at gylle har en lav pH 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).

En tredje forsurningsmetode er staldforsuring, som er beskrevet i et tidligere afsnit. Gylleforsuring 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 ammoniakfordampningen ved udbringning af gylle. Her blev det fundet, at ved at forsure gyllen til pH 6,5 eller lavere ved udbringning i marken blev ammoniakfordampningen reduceret med ca. 40% eller mere i forhold til ubehandlet gylle (upubliceret data). I samme forsøgsserie blev effekten på ammoniaktabet fra staldforsuret gylle også undersøgt og her fandtes en reduktion på 55-60% i forhold til slæbeslangeudbragt gylle. Kai et al (2008) viste at ammoniaktabet ved udbragt staldforsuret gylle var ca. 67% lavere end ubehandlet gylle. Den større effekt af forsuring i dette tilfælde hænger muligvis sammen med forskellige vejr- og afgrødeomstændigheder ved emissionsmålingsforsøgene, da pH værdien i den forsurede gylle var på niveau med den, der blev benyttet i forsøgene i 2010. Kai et al.(2008) fandt op til 50% ammoniaktab af den tilførte mængde ammonium-N, hvilket 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.

I det følgende er der regnet med at gylleforsuring i stalden reducerer ammoniaktabet ved udbringning med 60% i forhold til ubehandlet gylle. Forsuring af gyllen til pH 6,5 eller lavere under udbringning i marken eller umiddelbart før udbringning ved tankforsuring, forventes at reducere ammoniaktabet med 40% i forhold til slæbeslangeudbringning.

Tabel 23. Gennemsnitlig fordampning af ammoniak ved udbringning af forsuret og ubehandlet svine- og kvæggylle. Alle emissionskoefficienter er baseret på værdier fra Alfam modellen (Hansen et al., 2008). Tallene, vist i tabellen, er et gennemsnit af emissionskoefficienterne vægtet efter hvor meget gylle der udbringes i de forskellige måneder i løbet af året, se bilag 2. Der findes ikke opgørelser over ammoniaktabet fra udbragt minkgylle, men det vurderes at svare til ammoniaktabet fra udbragt kvæggylle.

	NH₃ tab ved udbringning af gylle (% af udbragt total N)	
	Svinebedrift	Kvægbedrift
Slangeudlagt ubehandlet gylle	8,7	9,0
Staldforsuret gylle	4,5	6,0
Tank- og markforsuret gylle	6,8	7,3

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 Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, i 2010. Her blev der målt lugt efter markforsuret kvæggylle blev bragt ud på græs. Nyord et al. (2010), fandt at markforsuring ikke påvirker lugten, det vil sige at lugten fra gyllen 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 meget begrænsede, da brugen af teknologierne på nuværende tidspunkt ikke er særlig udbredt. Derfor skal beregningerne af driftsomkostninger og derved miljøeffektivitet tages med store forbehold. Beregningerne bygger grundlæggende på arbejde udført af Videncentret for Landbrug (Landbrugsinfo, 2011), som har forsøgt at udregne økonomien ved slangeudlægning af forsuret gylle, ved SyreN-metoden (markforsuring). Hovedresultaterne fra denne opgørelse, er angivet i Tabel 24.

Tabel 24. Anslåede meromkostninger ved mark- og tankforsuring af gylle i forhold til udbringning af ubehandlet gylle.

	Svinegylle	Kvæggylle
Markforsuring af gylle		
Maskinomkostning, kr. pr. ton gylle ¹⁾	2,8	2,8
Omkostning til syre, kr. pr. ton gylle ²⁾	3,4	3,4
Udbringning, tons pr. ha	30	39
Værdi af svovl kr. pr. ha ³⁾	45	90
Meromkostning, kr. pr. ha	141	151
Tankforsuring af gylle		
Meromkostning, kr. pr. ton gylle ⁴⁾	0,4	0,4
Omkostning til syre, kr. pr. ton gylle ²⁾	3,4	3,4
Udbringning, tons pr. ha	30	39
Værdi af svovl kr. pr. ha	45	90
Meromkostning, kr. pr. ha	69	58

¹⁾Ved udspreddning af 50.000 m³ gylle pr. år med et stk. SyreN system (Landbrugsinfo, 2011) ²⁾ 1,5 l syre/ton gylle á 2,25 kr./l 96% koncentreret svovlsyre. ³⁾ substitution af 15 og 30 kg svovl i handelsgødning i hhv. vintersæd og slætgræs, á 3 kr./kg ⁴⁾ Se beregning af maskinomkostninger nedenfor.

Maskinomkostninger til markforsuring er baseret på omkostningsberegning, foretaget af Videncentret for Landbrug. Syreforbruget er sat til 1,5 l/ton gylle til forsuring til pH 6,5 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 2-1,5 l syre/ton gylle, vil pH som oftest være under 6,5 (Morten Toft, Biocover A/S, Veerst Skovvej 6, 6600 Vejen, Mobil 29 63 49 36, E-mail mt@biocover.dk, personlig meddelelse, 2011). Det skal dog understreges, at der, så vidt vides, endnu ikke findes uafhængige opgørelser af syreforbruget pr. ton gylle.

Ved tankforsuring med Harsø forsuringssystem, er det blevet oplyst af producenten (Harsø Maskiner A/S, Fåborgvej 5, 6818 Årre, Telefon nr. + 45 75 19 53 33, Email harso@harso.dk, personlig meddelelse, 2011), at ved indkøb af gylleomrører med forsuringssystem er ekstraprisen 25.000 kr. inklusiv beskyttelsesudstyr. Der er anvendt samme metode for beregning af omkostninger ved tank- eller markforsuring, det vil sige at omkostningen ved brug af systemet, er den ekstra kapital, der bindes i forsuringsteknologien, og den ekstra arbejdstid systemet kræver, i forhold til et tilsvarende gyllehåndteringssystem. Forudsætningerne for beregningen af maskinomkostninger har været følgende: ekstraomkostning ved indkøb = 25.000 kr. (18% værditab, 7 års levetid og 10 øre pr. ton gylle i vedligehold); kapacitet = 500 m³ gylle/time (inklusive flytning). Hertil bør sandsynligvis lægges en (ubekendt) omkostning for reduceret opbevaringskapacitet ved opskumning af gylle. På nuværende tidspunkt, hvor de praktiske erfaringer med teknologien er så få, er det umuligt at estimere en sådan potentiel omkostning præcist, men i den videre beregning er der indregnet en omkostning på 0,2 kr. pr. ton gylle.

I 2012 forventes endnu en tankforsuringsteknologi at blive optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste. Der er tale om Ørum TF 12 (Ørum Smeden, Vrejlevklostervej 310, 9830 Tårs). Ud fra det materiale, det har været muligt at fremskaffe på nuværende tidspunkt, formodes denne teknologi at kræve omtrent de samme omkostninger som Harsø tankforsuringsteknologi. Der skal dog gøres opmærksom på, at teknologien hidtil kun har været afprøvet i kvæggylle.

For at udregne omkostninger pr. kg. reduceret N, omregnes den procentvise reduktion til kg N/ha som er angivet i Tabel 25.

Tabel 25. Reduceret ammoniakemission ved forsuring af gylle i forbindelse med udbringning. Emissionskoefficienterne er vægtede gennemsnit for "gennemsnitlige" svine- og kvægbedrifter, se bilag 2. Det forudsættes at der udbringes 140 kg total N/ha og 170 kg total N/ha for hhv. svine- og kvæggylle.

	Svinebedrift	Kvægbedrift
Slæbeslangeudbringning		
Emissionskoefficienter (tab i kg/ha)	8,7 (12,2)	9,0 (15,3)
Tank- og markforsuring		
Emissionskoefficienter (tab i kg/ha)	6,8 (9,5)	7,3 (12,4)
Reduceret emission i kg/ha	2,7	2,9

Omkostningseffektivitet for forsuring af gylle i lager og under udbringning

Den mængde kvælstof, som ikke fordamper fra gyllen til luften, forudsættes at blive udnyttet 100% til øget afgrødevækst. Værdien af kvælstoffet sættes derfor til 6 kr. pr. kg N, da dette er substitutionsprisen ved indkøb af handelsgødning. Omkostningseffektiviteten for de to systemer, er beregnet som beskrevet nedenfor.

Markforsuring

Det vurderes at markforsuring reducerer emissionen fra svine- og kvægbedrifter med hhv. 2,7 kg/ha og 2,9 kg/ha ved tildeling af gylle fra hhv. 1,4 og 1,7 DE (Tabel 22).

Dermed bliver de driftsøkonomiske omkostninger 141 kr. per ha – $(2,7 \text{ kg N/ha} * 6 \text{ kr.}) = 124 \text{ kr./ha}$ for svinebedrifter, svarende til $124 \text{ kr./ha} / 2,7 \text{ kg N/ha} = \underline{46 \text{ kr./kg N sparet}}$.

På kvægbrug er omkostningerne 151 kr. per ha – $(2,9 \text{ kg N/ha} * 6 \text{ kr.}) = 133 \text{ kr./ha}$, svarende til $133 \text{ kr./ha} / 2,9 \text{ kg N/ha} = \underline{46 \text{ kr./kg N sparet}}$.

Tankforsuring

Det vurderes at tankforsuring reducerer ammoniakemissionen fra svine- og kvægbedrifter med hhv. 2,7 kg N/ha og 2,9 kg N/ha ved tildeling af gylle fra hhv. 1,4 og 1,7 DE (Tabel 22).

Dermed bliver de driftsøkonomiske omkostninger 69 kr. per ha – (2,7 kg N/ha * 6 kr.) = 53 kr./ha for svinebedrifter svarende til en omkostning på: $53 \text{ kr./ha} / 2,7 \text{ kg N/ha} = \underline{20 \text{ kr./kg N sparet}}$.

På kvægbrug er omkostningerne 58 kr. per ha – (2,9 kg N /ha* 6 kr.) = 41 kr. ha svarende til $41 \text{ kr./ha} / 2,9 \text{ kg N/ha} = \underline{14 \text{ kr./kg N sparet}}$.

Indsatsområde 2: Reduktion af pesticidanvendelsen

Seniorforsker Peter Kryger Jensen, lektor Bo Melander og seniorforsker Anton Thomsen

Indledningsvis skal nævnes, at i forhold til de to første udgaver af rapporten (Kai et al., 2010 og Kai et al., 2011) har Anton Thomsen i 2012 på ønske fra NaturErhvervstyrelsen tilføjet et afsnit om sensorer.

Omkostningseffektivitet ved reduktion af pesticidanvendelsen

Der er ikke angivet nogen rangordning af de beskrevne teknologier til pesticidreduktion i regnearket (Bilag 1). Dette er ikke foretaget, da teknologierne vedrører forskellige anvendelsesområder, som varierer fra almindelige landbrugsafgrøder til højt værdiproduktioner af frugt, bær og grønsager. Det vurderes ikke at være muligt at opstille objektive kriterier for sammenligning af teknologier til så forskellige formål. Såfremt der hos ansøger indsamles information om hvilket areal teknologien skal anvendes på, antal årlige behandlinger pr arealenhed og forventet pesticidreduktion ved hver anvendelse kan der foretages en beregning af den samlede behandlingsindeks besparelse pr år, og denne kan holdes op mod prisen på teknologien. Hvis der i ovenstående beregning, inddrages prisen på de anvendte pesticider, kan der foretages en beregning af årlig besparelse ved at anvende teknologien og dermed i hvor høj grad teknologien forrentes for avleren både uden og med et eventuelt tilskud.

Rækkedyrkningssystemer

Systemer til ukrudtsbekæmpelse i rækkedyrkede afgrøder kan bestå af en radrenser eventuelt i kombination med en båndsprøjte. Systemet kan primært anvendes i afgrøder der dyrkes på stor rækkeafstand som roer, majs samt en række specialafgrøder. Systemet er også relevant i afgrøder der normalt etableres bredsået, men som kan dyrkes på større rækkeafstand uden at det påvirker udbyttet. Det vigtigste eksempel er vinterraps hvor det i en periode, hvor udvalget af herbicider var meget begrænset, var ret udbredt at dyrke på 50 cm rækkeafstand og foretage radrensning evt. i kombination med båndsprøjtning. Der er ikke specielle krav til såudstyret. Ved at kombinere med styresystemer i form af GPS styring af såning, radrensning og båndsprøjtning, eller ved at anvende optiske styresystemer, kan båndbredden reduceres og anvendelsen af herbicider minimeres i systemet. Båndsprøjtning kan foretages med uafskærmede sprøjter eller med sprøjter, hvor dyserne er afskærmet. Afskærmning af dysen ved båndsprøjtning sikrer en mere korrekt sprøjtning og reducerer afdriftsrisikoen væsentligt.

I kartofler kan mekaniske løsninger udgøre en del eller hele ukrudtsbekæmpelsen i form af gentagen hypning, nedtagning af kammene og genopbygning af kammene.

Radrensning, herunder i kombination med båndsprøjtning, har tidligere været udbredt i forbindelse med ukrudtsbekæmpelse i roer. Primært af kapacitetsmæssige årsager blev teknikken afløst af bredsprøjtning. Inden for de senere år har systemet også kortvarigt været anvendt i vinterraps som ovenfor beskrevet. Teknologien med GPS styring af alle arbejdsprocesser er til rådighed, ligesom optiske styresystemer er til rådighed, men de udbydes ikke i Europa.

Anvendelse af ovenstående systemer skønnes at kunne reducere herbicidanvendelsen med over 60% i de pågældende afgrøder.

Autostyring og sektionsafblænding af sprøjter

Automatisk sektionsafblænding af sprøjter slukker automatisk for sektioner af sprøjten, der bevæger sig ind over områder af marken, der allerede er sprøjtet. Dermed sikrer sektionsafblænding mod overlap, specielt ved kørsel i uregulære marker. En sektion kan i princippet bestå af en enkelt dyse, dvs. 50 cm sprøjtebredde. Af økonomiske årsager består en sektion pt. af flere dyser og dermed flere meters sprøjtebredde. Automatisk sektionsafblænding sikrer således ikke mod overlap, så længe bredden af overlappet er mindre end bredden af en sektion på sprøjten. Ved såning med manuel styring af traktor/såmaskine foretages der typisk et vist overlap. Da der typisk anvendes marksprøjter, som er væsentligt bredere end såmaskinen, summeres dette overlap op. Ved såning med en 4 meters såmaskine, hvor der køres med 10-20 cm overlap, vil der således totalt summeres et overlap på 60-120 cm, hvis der anvendes en 24 meter bred sprøjte. Dette overlap vil således blive sprøjtet med mindre sprøjtens sektionsinddeling er på enkeltdysebasis. Ved at anvende autostyring med højpræcisions GPS udstyr i forbindelse med såning kan dette overlap undgås, og kombinationen af autostyring og automatisk sektionsafblænding kan derfor reducere pesticidanvendelsen yderligere. Automatisk sektionsafblænding er afhængig af et præcist GPS udstyr og det samme udstyr kan anvendes til autostyring.

Det skønnes, at der er solgt ca. 100 systemer med autostyring, og systemet forventes indenfor en kortere tidshorisont at være standard på nye traktorer. Systemet er en forudsætning for dyrknings-systemer i faste kørespor og tilbyder en række besparelsesmuligheder og rationaliseringsgevinster i øvrigt.

Det skønnes, at autostyring i forbindelse med såning kan reducere pesticidanvendelsen med ca. 3%.

Det skønnes, at automatisk sektionsafblænding kan reducere pesticidanvendelsen med ca. 3%.

Totalt skønnes kombinationen af autostyring og automatisk sektionsafblænding af sprøjter at kunne reducere pesticidanvendelsen med 5-10%.

GPS udstyr til autostyring

Se under autostyring og sektionsafblænding af sprøjter.

Sensorbaseret ukrudtssprøjte

Ved total bekæmpelse af ukrudt kan der anvendes en relativt simpel sensorteknologi, der registrerer grøn biomasse. Teknologien er specielt anvendelig ved total ukrudtsbekæmpelse, hvor al plantevækst er uønsket. Teknologien kan være relevant ved bekæmpelse af rodukrudt i stubmarker, samt ved total ukrudtsbekæmpelse af ukrudt før afgrødens fremspiring. For at opnå den maksimale besparelse på herbicidforbruget, kræves det, at der er monteret en sensor pr. dyseenhed. Jo større bredde af sprøjtebommen der dækkes af en enkelt sensor des mindre bliver potentialet for herbicidbesparelse. Teknologien er kommercielt til rådighed og markedsføres i Danmark.

Det skønnes, at teknologien vil kunne reducere herbicidanvendelsen til de 2 beskrevne anvendelsesområder med op til 80%.

I det følgende er en række sensorsystemer på det danske marked beskrevet:

Sensor: Yara N-sensor (version WB)

Måleprincip: Bestemmelse af afgrødens spektrale reflektans (procent reflekteret sollys) relateret til biomasse og klorofylindhold og derigennem til kvælstofindholdet. Sensoren er tag-monteret på en traktor. Sensoren indeholder to enkeltsensorer. Målingerne foretages i en skrå vinkel på begge sider af traktoren, og målefeltets samlede areal er stort, hvilket giver robuste målinger i stærkt varierende afgrøder.

Status for anvendelse i Danmark: Et større antal sensorer i praktisk brug. Sensoren har indgået i en række videnskabelige og praktiske forsøg, hvor der er udviklet lokale algoritmer til tildeling af kvælstof. Ligeledes er sensorens anvendelsesmuligheder til tildeling af pesticider ved at blive undersøgt.

Specielle forhold: Sensoren er solgt i et stort antal (>1000), hovedsageligt i Europa, og der er udviklet algoritmer til primært N-gødsning af en række afgrøder. En nyere version af Yara sensoren (version ALS) er baseret på aktiv belysning af afgrøden via indbygget lyskilde og fungerer der-

for uafhængigt af sollyset. ALS sensoren er prissat til ca. 254.000 Kr. For den praktiske anvendelse er det en fordel at kunne arbejde på alle døgnets timer.

Sensor: Fritzmeier Isaria system

Måleprincip: Aktiv bestemmelse af afgrødens spektrale reflektans relateret til biomasse og klorofylindhold og derigennem til kvælstofindholdet. Målingerne foretages fra to målebomme placeret i traktorens frontlift. Afstanden til afgrøden er kort og arealet af det samlede målefelt derfor begrænset.

Status for anvendelse i Danmark: Ny sensor på markedet. Nogle få sensorer er solgt inden for de seneste to år og sensoren er under indledende anvendelse og evaluering.

Specielle forhold: Afgrøden belyses aktivt af 4 spektrale LED lyskilder placeret i hvert af de to sensorhoveder. Reflektansen bestemmes tilsvarende i fire bølgelængder i det synlige og nærinfrarøde område. På grund af den aktive belysning kan der arbejdes på alle døgnets timer.

Sensor: GreenSeeker

Måleprincip: Aktiv bestemmelse af afgrødens spektrale (rød og nærinfrarød) reflektans relateret til biomasse og klorofylindhold og derigennem til kvælstofindholdet. Sensorerne placeres typisk direkte på marksprøjte eller andet redskab. Antallet af sensorer varierer. Fire eller seks sensorer er typisk for systemer solgt i Danmark.

Status for anvendelse i Danmark: Sensoren har været produceret i en årrække. I Danmark forventes der solgt ca. 15 systemer i første halvdel af 2012. Ingen anvendelse i Danmark før dette tidspunkt her.

Specielle forhold: Sensoren er aktiv og kan anvendes i alle døgnets timer. Sensoren placeres typisk lavt og arealet af det samlede målefelt er derfor begrænset. Anvendelse af et større antal sensorer kan kompensere herfor.

Sensor: WeedSeeker

Måleprincip: Samme spektralsensor som anvendes i GreenSeeker. Hver sensor udstyret med en sprøjtedyse med hurtig åbne- og lukketid. Dysen aktiveres når sensoren detekterer grøn plantevækst. Sensorerne placeres typisk direkte på marksprøjte eller andet redskab.

Status for anvendelse i Danmark: Sensoren har været produceret i en årrække. I Danmark forventes der solgt 1 stort (ca. 90 sensorer) system i 2012. Ingen tidligere anvendelse her.

Specielle forhold: Sensoren har typisk været markedsført i Danmark og internationalt i forbindelse med små systemer, som anvendes til ukrudtssprøjtning på mindre arealer i byer, lufthavne, langs veje og jernbaner etc. Store systemer anvendes internationalt typisk til sprøjtning af ukrudt i forbindelse med pløjefri dyrkning. På grund af den direkte kobling mellem sensor og sprøjtedyse er sensoren anvendelig til ukrudtsbekæmpelse i rækkeafgrøder som typiske gartneriafgrøder.

Sensor: OptRx

Måleprincip: Aktiv bestemmelse af afgrødens spektrale (rød og nærinfrarød) reflektans relateret til biomasse og klorofylindhold og derigennem til kvælstofindholdet. Sensorerne placeres typisk direkte på marksprøjte eller andet redskab. Antallet af sensorer kan varieres.

Status for anvendelse i Danmark: Sensoren er ny på markedet.

Specielle forhold: Afgrøden belyses aktivt af 3 spektrale LED lyskilder placeret i hvert sensorhoved. Refleksionen bestemmes tilsvarende i tre bølglængder. På grund af den aktive belysning kan der arbejdes på alle døgnets timer. Selv om sensoren har en relativt stor åbningsvinkel er det samlede målefelt kun mellemstort. Ved anvendelse af 4 eller flere sensorer kan arealet af målefeltet forøges og den rumlige dækning forbedres.

Stedspecifik plantebeskyttelse (ukrudtsbekæmpelse)

Dette begreb dækker over, at den enkelte marks behov for plantebeskyttelse varierer og derfor vil en varieret tildeling af plantebeskyttelsesmidler være mest optimal. Konceptet er længst udviklet til ukrudtsbekæmpelse, hvor undersøgelser har vist at det er muligt at reducere herbicidindsatsen med over 50%. Stedspecifik plantebeskyttelse forudsætter, at der foretages en stedspecifik registrering af behovet for plantebeskyttelse forud for eller i forbindelse med tildelingen ("real time"). Ud fra registreringerne udarbejdes et GPS baseret tildelingskort, mens der med "real time" registrering foretages varieret tildeling i samme arbejdsgang baseret på denne registrering. Tildeling kan foretages med konventionelle sprøjter, hvor der er mulighed for at variere doseringen af det forudvalgte middel/blanding inden for visse grænser afhængig af den anvendte dyseteknologi. Mere avancerede systemer i form af injektionssprøjter kan variere såvel dosering som middelsammensætning. Injektionsteknologien stiller til gengæld større krav til den anvendte software, da der typisk er en forsinkelse fra det tidspunkt, hvor en indstilling aktiveres til det tidspunkt, hvor det ønskede middel/og dosering er ude ved dysen.

Den væsentligste barriere for anvendelse af stedspecifik ukrudtsbekæmpelse er registreringsarbejdet. Det er konkluderet at manuel ukrudtsregistrering er for omkostningstungt i forhold til besparelspotentialt med de nuværende prisrelationer (Gerhards & Christensen, 2003; Christensen *et al.*, 2009). Udvikling af automatiske systemer til registrering af ukrudtsarter og -planter er derfor en forudsætning for videre udvikling og implementering af konceptet. Sådanne koncepter arbejdes der med i flere forskningsprojekter.

Denne teknologi er ikke beskrevet i regnearket (Bilag 1), da der pt. ikke findes kommercielle pakkeløsninger.

Det skønnes at teknologien på sigt vil kunne reducere herbicidanvendelsen med over 50%, når der er udviklet systemer til automatisk ukrudtsregistrering.

Injektionssprøjter til stedspecifik plantebeskyttelse (ukrudtsbekæmpelse)

Med et injektionssystem på en marksprøjte, sprøjtes midlerne ind i væskestrømmen mellem tanken og bommen/dyserne. Pesticiderne medbringes på sprøjten i koncentreret form. Der kan medbringes op til 6 forskellige midler med de systemer der er på det danske marked. Sprøjtetanken indeholder rent vand, der udsprøjtes i en konstant væskemængde per hektar, mens middel og dosering kan varieres trinløst hen over marken. Doseringen af hvert middel kan således varieres ubegrænset ligesom blandingsforholdet mellem de forskellige produkter kan varieres. Teknologien er således oplagt for på et tidspunkt at kunne realisere det fulde potentiale, der er ved stedspecifik plantebeskyttelse, men anvendelsen er stadig afhængig af at der udvikles automatiske systemer til registrering af bekæmpelsesbehovet som beskrevet under stedspecifik plantebeskyttelse.

Injektionsteknologien indebærer også nogle udfordringer. Eksempelvis skal midler på fast form opløses før de kan anvendes, og rester af de opløste produkter skal derefter opbevares i anden emballage. Ligeledes er der en udfordring omkring rengøring af de beholdere, der anvendes til de koncentrerede produkter. I forhold til stedspecifik plantebeskyttelse er der yderligere en udfordring. Afhængigt af hvor det koncentrerede middel sprøjtes ind (slangediameter, cirkulationssystem etc.), går der en vis tid, fra det koncentrerede middel er introduceret i væskestrømmen, til den korrekte/tilstræbte dosering opnås ude ved alle dyser. På sprøjter der ikke er optimeret mht. reaktionslængde kan denne være væsentligt over 100 meter (Lyngvig, 2012). I en farmtest er det tidligere vurderet, at de fleste hydrauliske sprøjter kan monteres med injektionssystem og optimeres til en maksimal reaktionslængde på 30-40 meter (Pedersen & Laursen, 2001). På det danske marked reklamerer en af forhandlerne med en reaktionslængde på ca. 10 meter, hvilket dog ikke er verificeret. Såfremt en sprøjte med injektionssystem skal anvendes til at tildele midler og doser stedspecifikt, giver det nogle udfordringer. Såfremt tildelingen skal foregå på basis af et forud registreret tildelingskort, vil det formentlig være muligt at programmere sig ud af denne problematik såfremt sprøjtens rute i marken ligger fast. Ved "realtime" registrering og tildeling vil det kræve at sensor (eller andet registreringsudstyr) er placeret på sprøjtereds-kabet, så bekæmpelsesbehovet er registreret foran bommen i en afstand, der svarer til reaktionslængden samt den tid, der er behov for til processering og beslutning.

Indsatsområde 3: Reduktion i tab af næringsstoffer i forbindelse med fodring, omsætning af foderstoffer samt anvendelse af husdyrgødning

Sektionsleder Hanne Damgaard Poulsen og seniorforsker Peter Lund

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 bevidsthed 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 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 foderblandingsstyper)
- 4) erstatning af råprotein med industrielle aminosyrer (svin, fjerkræ, (kvæg?))
- 5) brug af højkvalitets foderfosfater (MCP)
- 6) brug af enzymer som fytase
- 7) andre foderadditiver (senest benzosyre)
- 8) 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 beskrives i et særskilt kapitel og 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 med et mere korrekt næringsstofindhold ift. dets fysiologiske stadium.

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

Vurdering af omkostningseffektiviteten (investering 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 vurdering er ikke foretaget, idet det forudsætter en vægtning af de 4 effekters "værdi". I stedet er der gennemført en vurdering af de forskellige teknologiers samlede effekt med henblik på en vurdering af den forventede effekt indenfor grupperingen af de forskellige teknologier.

De nævnte teknologiske tiltag til udmøntning af de biologiske potentialer har væsentlig nyhedsværdi inden for nogle husdyrgrene, hvor de inden for andre produktionsgrene ikke har samme nyhedsværdi. 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 nyhedsværdien af de nævnte teknologier i forhold til praksis på den enkelte bedrift, hvor nogle af de nævnte teknologier er specifikke for bestemte husdyrarter, hvorfor en teknologi kan have nyhedsværdi hos en dyreart men ikke hos andre.

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 det 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 for de fire hovedgrupperinger af tiltag er anført i nedenstående oversigtstabel (Tabel 26), hvori også er anført en vurdering af de forskellige tiltags effekter på de fire forskellige miljøfaktorer. Hvis der for hver dyrekategori er flere teknologier, er der foretaget en samlet vurdering inden for hver hovedgruppering ved angivelse af 1-3 stjerner, hvor 3 stjerner angiver den største forventede effekt på de fire miljøfaktorer. Dyrekategorierne er opdelt i to hovedgrupper: drøvtyggere, primært kvæg (K) samt andre (A). Den vurderede effekt er angivet i % i forhold til normalt for gødningsplanåret 2011/12 og kan variere mellem de forskellige dyrekategorier, men der er ikke foretaget en egentlig vurdering mellem de to kategorier K og A. 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.

Tabel 26. Samlet oversigt og vurdering af teknologier, der knytter sig til fodring af husdyrene og disses omsætning af næringsstoffer i foder og foderstoffer. Effekterne er angivet i % i forhold til normtal 2011/2012-værdierne for udskillelse af næringsstoffer og emission af ammoniak. Effektens størrelse er vurderet ud fra effekt af helt ny teknologi eller effekt af opgradering af gammel med ny version af teknologien.

1)	Teknik	Uddybning	N	Ammoniak	P	Gas/metan ²⁾	Samlet
K	1. Gruppeopdeling	Brug af specifikt udfodringsudstyr til faseopdelt fodring (punkt 2) kræver gruppeopdeling af dyr i samme fase	5-7	13-17	10-25	2	
A		Brug af specifikt udfodringsudstyr til faseopdelt fodring (punkt 2) kræver gruppeopdeling af dyr i samme fase	5-15%	5-20	5-10	-	
K	2. Udfodringsudstyr og fodring	Automatisk fodring Mixeranlæg	5-7	13-17	10-25	2	*
K		Kraftfoderanlæg	5-7	13-17	10-25	2	*
K		Foderblander med vejeudstyr	10-15	13-17	20-50	4	***
K		Udstyr til fedttilsætning (tanke og doseringsudstyr)	-	-	-	9-11	Kun effekt på metan
A		Udstyr til etablering af fasefodring ved nyetablering af fasefodring	5-10	5-15	5-10	-	
K	3. Overvågningsudstyr	On-line analyse af mælkeprøver - eksempelvis herd navigator	7-10	13-17	15-40	3	**
K+ A	4. Foderhåndtering	Vejeudstyr i foderproduktionen Udstyr til finere formaling af foderkorn	8-12	0	15-40	0	
K+ A		Udstyr til udtagning af ensilage	2-4	0	5-15	0	

¹⁾ K= kvæg (drøvtyggere); A = svin/fjerkræ (andre)

²⁾ Dyreeffekt (ekskl. mark og lager); kun hos drøvtyggere

Stjerner (*, **, ***) angiver den samlede vurderede effekt, hvor antallet af stjerner angiver størrelsen (tre stjerner har størst effekt).

Indsatsområde 4: reduktion af energi-, vand-, næringsstof- og pesticidforbruget i gartnerisektoren

Sektionsleder Lillie Andersen, seniorforsker Peter Kryger Jensen og lektor Bo Melander

Indledningsvis skal nævnes, at de dele vedrørende Indsatsområde 4, der omhandler reduktion af energi-, vand- og næringsstofforbruget i gartnerisektoren i 2010 blev udarbejdet og i 2011 opdateret af Niels-Erik Andersson, daværende Institut for Havebrugsproduktion (Kai et al., 2010; Kai et al., 2011). I 2012 er opdatering forestået af Lillie Andersen.

Energi

Solfangere

Energiproduktionen på solfangere afhænger af solindstrålingen. Energiproduktionen er derfor størst om sommeren og lille i vinterperioden. Solfangere bruges som supplerende energikilde til opvarmning i boliger, typisk ved brug af en ekstra varmespiral i varmtvandsbeholderen eller en ekstra varmeveksler (fjernvarme). Afgangstemperaturen fra et solfangeranlæg kan være høj, op mod 60-80 °C, men kapaciteten, altså den vandmængde, som kan afgives med høj temperatur, afhænger af solfangeranlæggets størrelse.

Der er tidsforskydning mellem væksthushets behov for varme og varme, produceret med solfangeranlægget. For at kunne udnytte solfangere i et gartneri skal de tilsluttes en akkumuleringstank. Ved at se på gartneriets energiforbrug i sommerhalvåret kan en energibesparelse og reduktion i CO₂ udledning opnås ved, at kedelanlægget holdes varmt ved hjælp af varme fra solfangeren, og ved at væksthuset opvarmes helt eller delvist med varme fra solfangeren.

Almindelige solfangere, som findes på markedet, kan anvendes i gartnerierne. Når teknikken hidtil ikke har været anvendt i gartnerierne, skal det ses i sammenhæng med kapacitet/størrelse af solfangeranlægget og energiforbrugsmønster og energibehov til opvarmning af væksthushus.

Lagring af varme i jorden på kort og langt sigt

Der er begrænsninger på, hvor varmt vandet må være, når det pumpes ned i stillestående grundvand (aquifer). Det er et myndighedskrav, at aquiferen er energineutral over en periode på 12 måneder. Det vil sige, at energimængden, som er lagret, skal modsvares af en tilsvarende udtrukket energimængde fra aquiferen. Når varme skal lagres, afhænger lagringsformen af temperaturen. Hvis varmen kommer f.eks. fra en solfanger eller fra en varmepumpe, vil vandtemperaturen typisk være på 60 °C eller højere og energien skal kun lagres kortvarigt for at undgå for stort tab. Dvs., at lagring skal ske i en isoleret akkumuleringstank. Lagring af energi i akkumuleringstank har været benyttet i mange år i gartnerierne.

Er der tale om vand med lav temperatur, ca. 20 °C, er den vandmængde, der skal lagres, stor, for at få en stor energireserve og her er et aquifert system velegnet.

Lagring af varme i grundvandet kræver, at grundvandet står stille, og at porøsiteten skal være god (min. 30%), så det er muligt at pumpe vand op og ned med mindst mulig pumpekapacitet. En del energi fra aquiferen vil tabes på grund af hydrauliske forhold, og aquifererne må ikke ligge for tæt på hinanden, da der kan opstå interferens, hvor energi flyttes mellem aquifererne. Vands varmekapacitet er $4,15 \text{ MJm}^{-3}\text{K}^{-1}$, mens sands er $1,2\text{-}1,4 \text{ MJm}^{-3}\text{K}^{-1}$, altså ca. en tredjedel af vands. Det har i sammenhæng med aquifere systemer ikke den store praktiske betydning, andet end at sandlagets tykkelse kan være afgørende for, om det er muligt at etablere et aquifert system. Anvendelse af aquifer varmelagring er kendt fra industrien og i mindre omfang til boligopvarmning, og er anvendt i lille omfang i hollandske gartnerier.

Investering i et aquifert system vil afhænge af undergrunden, først og fremmest hvor store mængder vand der kan pumpes op og ned, og hvor stor den samlede kapacitet til lagring skal være. Etablering af aquiferen koster mellem 3.000 og 5.000 kr. pr. kW, udtrykt som kølekapacitet. I etableringsomkostningerne indgår en forundersøgelse af undergrunden, hvor det konstateres, om undergrunden er egnet som aquifer eller ej. Anlægget etableres ved to borer til den nødvendige dybde og etablering af forsyningsledninger med pumper frem til en varmeveksler. Hertil kommer udgifter til varmevekslere og evt. varmepumpe og konvektorer i væksthuset. Den udgift afhænger af størrelsen af det areal, som opvarmes.

Miljøeffekten afhænger af, hvilken energikilde gartneriet bruger. Stenkul har den højeste CO_2 afgivelse på 95 kg CO_2 pr. GJ og fjernvarme mindst med 34 kg CO_2 pr. GJ. Miljøeffekten vil derfor afhænge af, hvor stor en energimængde, der kan ekstraheres fra væksthuset og genanvendes. Genanvendelse af energi fra væksthuset vil kræve energi til drift af pumper, varmeveksler og konvektorer og eventuelt en varmepumpe. Ved konvertering af en del af energiforbruget til ekstraktion og varmelagring vil elektricitetsforbruget øges og CO_2 emissionen fra elforbruget (15 kg CO_2 pr. GJ) skal modregnes.

Energi fra varmelagring i aquifere systemer har lav exergi, dvs. varmeudnyttelsespotentialer, og for at kunne udnytte energien i eksisterende vandbårne varmesystemer skal exergien forøges, hvilket kan ske ved hjælp af en varmepumpe. Med en varmepumpe kan der ske forbedring af effektiviteten andre steder i energiforsyningskæden. Blandt andet kan der foretages køling af røggassen fra kedler, hvorved der trækkes mere energi ud.

Lagring af varme i grundvand skal ses i sammenhæng med energiekstraktion fra væksthuset og hvor lagringen sker for en længere periode.

Isolering af tremples

Glas eller kanalplader i nordsiden af væksthuse kan erstattes af højtisolerende bygningselementer. Energibesparelsen afhænger af det areal, som erstattes med et højtisolerende materiale. Materialet findes på markedet, lige som materialet har været anvendt ved nybyggeri i de seneste 2-3 år. Der er en uddybende redegørelse for energibesparelspotentialet under punktet: *to- eller flerlags dækkematerialer glas/plast*, se endvidere Tabel 27 og 28.

Isolering af sokles

Det er muligt at isolere væksthuses sokkel ved nybygning, men soklen kan ikke efterisoleres i eksisterende byggeri. Det skyldes, at væksthuse står direkte på jorden, og det kan ikke sammenlignes med udvendig isolering af soklen på et hus med kælder. Moderne blokvæksthuse har typisk et punktfundament, hvor søjlerne forankres. Her anvendes højtisolerende bygningselementer som sokkel og som den nederste del af væggen. Det er muligt at erstatte det nederste glas i trempel og gavle med højtisolerende bygningselementer, svarende til dem, som anvendes ved permanent isolering af tremples.

Soklen udgør en forholdsvis lille del af den samlede overflade af væksthuse, og isolering har marginal indflydelse på væksthuses varmekonsum.

To- eller flerlags dækkematerialer glas/plast

Isolerende dækkematerialer, i form af kanalplader, nedsætter energikonsumet, men energibesparelsen afhænger af det areal, hvor glas erstattes med isolerende dækkemateriale. Nedsættelsen af energikonsumet afhænger også af det antal lag, som pladen består af. Varmetransmissionskoefficienten reduceres fra 3,1 for en dobbeltlagsplade til 1,6 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ for 6-lagsplade. Til sammenligning har glas en varmetransmissionskoefficient på 6,5 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Anvendes permanent isolering, dvs. materialer uden lysgennemgang, kan varmetransmissionskoefficienten reduceres til 0,4 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

Der er i det følgende givet nogle eksempler på den forventede energibesparelse ved at udskifte enkeltlagsglas med 2 lags-kanalplader.

Det er lettest at erstatte enkeltlagsglas med dobbelte kanalplader i fritliggende væksthuse. Et almindeligt fritliggende væksthuse, bygget i glas og uden isoleringsgardiner, har et typisk varmekonsum (P-værdi) på 8,5 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Det er ikke ualmindeligt, at gavlene i eksisterende fritliggende væksthuse består af kanalplader, hvilket giver en P-værdi på 8,1 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Når der meget ofte bruges kanalplader i gavlene, er det, fordi det er vanskeligt at montere et træksystem til et isoleringsgardin. Ved isolering af gavlene udelades monteringen af et skygge- eller isoleringsgardin. Udskiftes yderligere f.eks. den nordvendte trempel med kanalplader, reduceres P-værdien til 7,7 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ og med begge tremples isoleret til

7,5 Wm⁻²K⁻¹. Hvis f.eks. den nordvendte tagflade også udskiftes, reduceres P-værdien til 6,0 Wm⁻²K⁻¹ og med begge tagflader udskiftet med dobbelte kanalplader bliver P-værdien 4,5 Wm⁻²K⁻¹. I stedet for kanalplader kan glasset i nordtrempelen erstattes med permanent isolering. Det vil reducere P-værdien i et glashus fra 8,5 til 8,1 Wm⁻²K⁻¹. I et fritliggende væksthuse, bygget i kanalplader, vil isolering af nordtrempelen med permanent isolering sænke P-værdien fra 4,5 til 4,3 Wm⁻²K⁻¹. Reduktionen i energiforbruget ved anvendelse af kanalplader i et fritliggende væksthuse er angivet i Tabel 27.

Tabel 27. Ændring i det årlige energiforbrug for et fritliggende væksthuse ved isolering med 2 lags-kanalplader ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Isolering	P-værdi [Wm ⁻² K ⁻¹]	Årligt energiforbrug [kWh pr m ²]	Reduktion i energiforbruget set i forhold til uisoleret [%]
Uisoleret	8,5	887	-
Permanent isolering af nordtrempel	8,1	846	5
Gavle	7,9	825	7
Gavle og nordtrempel	7,7	804	9
Gavle og trempel	7,5	783	12
Gavle, trempel og en tagflade	6,0	626	29
Gavle, en trempel med permanent isolering og en med kanalplade og en tagflade	5,8	605	32
Alle udvendige flader i kanalplade	4,5	470	47
Permanent isolering af nordtrempel, øvrige flader i kanalplader	4,3	449	49

Hvis væksthuse er bygget som en blok (Venloblok), er mulighederne for at bruge isolerende dækmaterialer mindre på grund af tagkonstruktionens udformning. Tagkonstruktionen består af mange små tage med skotrender imellem, og der er ikke udviklet et profilsystem til kanalplader.

I gavlene bruges ofte kanalplader, og af samme årsag som for fritliggende væksthuse, fordi det er vanskeligt at montere et velfungerende træksystem til et isoleringsgardin.

En glas-Venloblok har en P-værdi på 8,1 Wm⁻²K⁻¹. Ved isolering af gavlene bringes P-værdien ned på 7,7 Wm⁻²K⁻¹. Isoleres nordtrempelen med kanalplader, fås en P-værdi på 7,5 Wm⁻²K⁻¹. Bruges der i stedet permanent isolering i nordtrempelen, reduceres P-værdien til 7,2 Wm⁻²K⁻¹. Bruges der desuden kanalplader i sydtrempelen, bliver P-værdien 7,0. Den vanskeligste del at isolere på et blok-væksthuse er som nævnt taget, men de teoretiske beregninger ved udskiftning med kanalplader er medtaget i Tabel 28.

Tabel 28. Ændring i energiforbrug for et blokvæksthus (Venloblok) ved isolering med 2-lags-kanalplader ved en sæt-punktstemperatur på 20 °C.

Isolering	P-værdi [Wm⁻²K⁻¹]	Årligt energi- forbrug [kWh pr m²]	Reduktion i energiforbruget set i forhold til uisoleret [%]
Uisoleret	8,1	846	-
Gavle	7,7	804	5
Gavle og nordtrepel	7,5	783	7
Gavle og permanent isolering af nordtrepel	7,2	752	11
Gavle, kanalplader i sydtrepel og permanent isolering af nordtrepel	7,0	731	14
Gavle, trepler og en tagflade	5,8	605	28
Alle flader isoleret med akrylplader	4,3	449	47
Nordtrepel permanent isoleret og øvrige flader i kanalplade	4,1	428	49

Den forventede energibesparelse står dog ikke altid mål med det, som opnås i virkeligheden. I væksthuse, bygget helt eller delvist i kanalplader, bliver luftfugtigheden højere og energiforbruget til affugtning stiger. Affugtning er en energiforbrugende proces, der sker ved brug af naturlig ventilation, samtidig med at der tilføres energi til væksthuset.

Investering i udskiftning af glas til kanalplader vil variere en del afhængig af væksthustype og alder og typen af kanalplader. Jo højere lystransmission kanalplader har, desto højere er prisen, og investeringen kan ligge mellem 400 til 600 kr. pr. kvadratmeter.

Ud fra reduktionen i energiforbruget kan miljøpåvirkningen i form af lavere CO₂ emission beregnes. Den mængde CO₂, som dannes pr. energienhed, er afhængig af den anvendte energikilde. Data fra Energistyrelsen viser, at det samlede energiforbrug i gartnerierne i 2008 lå på 7.343 TJ, fordelt på 2.151 TJ fra fjernvarme, 1.832 TJ fra stenkul, 1.264 TJ fra naturgas, 1.039 TJ fra elektricitet, 624 TJ fra fuelolie, 366 TJ fra gasolie og 66 TJ fra andre energikilder

(<http://www.danskgartneri.dk/Publikationer/~media/danskgartneri/Publikationer/Dansk%20Gartneri%20i%20total/Tal%20om%20gartneriet%202012.ashx>). Anvendelse af 2- eller flerlagsdækkematerialer påvirker ikke elektricitetsforbruget, idet hovedparten anvendes til kunstlys. Stenkul afgiver den største mængde CO₂ pr. energienhed produceret og har derfor den største miljøpåvirkning (Tabel 29).

Tabel 29. Reduktionen i CO₂-emissionen i kg pr. kvadratmeter pr. år for et fritliggende væksthuse ved en sætpunktstemperatur på 20 °C ved forskellige grader af isolering med 2-lagskanalplader.

Isolering	Fjernvarme	Naturgas	Gasolie	Fuelolie	Stenkul
Permanent isolering af nordtrepel	5	9	12	12	15
Gavle	8	13	17	17	21
Gavle og nordtrepel	10	16	21	22	27
Gavle og trepler	13	22	28	30	36
Gavle, trepler og en tagflade	31	53	69	72	88
Gavle, en trepel med permanent isolering og en med kanalplade og en tagflade	35	58	76	80	97
Alle udvendige flader i kanalplade	51	86	111	117	143
Permanent isolering af nordtrepel, øvrige flader i kanalplader	53	90	116	122	149

Gardinanlæg

Gardiner i væksthuse har to funktioner. Den ene er afskærmning mod sol (høj lysintensitet), og den anden er energibesparelse om natten. Gardiner anvendes i alle potteplantegartnerier og i en del agurkegartnerier.

Energibesparelse ved brug af gardiner i væksthuse har været kendt længe og virkningen af at bruge gardiner er målt i en del forsøg. Energibesparelsen afhænger af det materiale, som gardinerne er fremstillet af og energibesparelsen opstår gennem påvirkning af tre faktorer:

1. Et glasvæksthuse har et energitab gennem konvektion, hvor luften i væksthuset afkøles af det kolde glas.
2. Et glasvæksthuse har et naturligt luftskifte, hvor varm luft siver ud og erstattes med kold luft.
3. Der sker energitab gennem langbølget varmestråling fra alle overflader i væksthuset.

I litteraturen er der stor variation i angivelsen af energibesparelsen ved brug af gardiner, og en af årsagerne skal findes i, at der ikke er taget hensyn til luftskiftet i væksthuset. Ældre væksthuse har ofte et højere naturligt luftskifte end moderne væksthuse og luftskiftet reduceres yderligere, hvis der bruges kanalplader som dækkematerialer i stedet for glas.

Et gardin, som er tæt, dvs. at luften har svært ved at passere igennem materialet, reducerer energitabet ved konvektion. Samtidig er et tæt gardin med til at reducere luftskiftet i væksthuset. Strålingstab kan reduceres, hvis der bruges et gardin, som indeholder aluminium. Aluminium bruges, fordi det er billigt og kan fremstilles som en tynd folie, der limes på en plastfilm. Energibesparelsen er derfor afhængig af det gardinmateriale, som anvendes. Yderligere er energibesparelsen afhængig af, hvilken styringsstrategi der anvendes og om der anvendes mere end ét lag gardiner.

Gardinmaterialer og energibesparelse

I litteraturen angives værdier fra 20 til over 40% i energibesparelse ved anvendelse af gardiner. I nogle tilfælde angives endnu højere energibesparelser, fordi energibesparelsen kun er udregnet for den periode, hvor gardinerne er trukket for. Der er ingen energibesparelse, når gardinerne er trukket fra, hvad de er om dagen, men væksthuset vil fortsat kræve opvarmning. Energibesparelsen angives i nogle tilfælde på årsbasis og i andre tilfælde kun for vinterperioden.

Der findes ingen standard for måling af et gardinmateriales energibesparende effekt, og fabrikanter af gardinmaterialer angiver ikke, hvilken metode de har brugt til fastsættelse af energibesparelsesprocenten.

En realistisk værdi for ét lag gardin er en energibesparelse på mellem 20 til 30%, lavest for transparente materialer og højest for gardiner helt i aluminium.

Der findes kun få oplysninger om størrelsen af energibesparelsen, når der installeres to lag gardiner i væksthuset. Energibesparelsen bliver større, men igen afhænger besparelsen af gardinmaterialernes egenskaber. Bruges tætte gardiner og vandret montering, fås en højere energibesparelse, fordi den stillestående luft mellem de to gardinlag øger isoleringen. Energibesparelsen stiger med 10 til 15%, når der installeres et ekstra lag gardiner.

Et krav, uanset om der er installeret ét eller to lag gardiner for at få den maksimale energibesparelse, er at inddækningen, dvs. dér, hvor gardinet ligger an mod konstruktionen, er tæt. Det løses på forskellig vis, bl.a. ved overlapninger og en såkaldt fodpose ved soklen.

Gardinmaterialerne slides og nedbrydes af UV lys, som der findes lidt af i et væksthuis, selv i et glasvæksthuis. Ved slitage opstår utætheder i gardinmaterialerne og energiforbruget forøges. Levetiden for et gardinanlæg er erfaringsmæssigt mellem 5 og 7 år. Udskiftning af slidte gardinmaterialer mindsker energiforbruget, men et skift til et andet og mere isolerende materiale vil betyde en lille reduktion i energiforbruget.

NIR (nær-infrarøde) gardiner

NIR gardiner er karakteriseret ved at kunne reflektere en del af solens nærinfrarøde stråling. Refleksionen opnås ved brug af nanoteknologi, og idéen er at reducere varmebelastning af væksthuset i perioder med høj indstråling. Ud fra få tekniske målinger er der intet, der tyder på, at NIR gardiner, anvendt som isoleringsgardiner, giver en større energibesparelse end gardiner fremstillet af samme materiale blot uden NIR-egenskaber. NIR-gardiner er endnu ikke markedsført.

Mørklægningsgardiner bruges i forbindelse med kortdagsbehandling af planter for at inducere blomstring i perioder, hvor den naturlige dagslængde er længere end den kritiske dagslængde.

Mørklægningsgardiner er lystætte gardiner. De har endvidere gode isolerende egenskaber og kan give en energibesparelse på ca. 30%, bl.a. fordi de fremstilles med en overside bestående af aluminium.

Bortset fra NIR-gardiner har skygge-, isolerings-, og mørklægningsgardiner været anvendt i mange år i gartnerierne.

Der sker kun en reduktion i energiforbruget, når gardinerne er trukket for, og energibesparelsen er målelig i perioder med højt energiforbrug (fra januar til og med april og fra september til og med december). Væksthuse kan klassificeres efter deres varmekonsum (Wm⁻²K⁻¹), som afspejler væksthuses energitekniske tilstand. Jo højere et varmekonsum, des dårligere er den energitekniske tilstand. Typisk har ældre fritliggende væksthuse et meget højt varmekonsum, mens moderne blokvæksthuse har et mindre varmekonsum. I nedenstående Tabel 30 ses den procentvise energibesparelse ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmekonsum, afhængig af hvor stor en ændring der efterfølgende sker i varmekonsumet. En realistisk forbedring af varmekonsumet ved installation af gardiner ligger mellem 2-2,5 og afhænger blandt andet af gardinmaterialet og monteringsmetoden.

Tabel 30. Procentvis energibesparelse i perioderne januar-april og september-december ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmekonsum ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Varmeforbrugstal uden gardiner	Varmeforbrugstal med gardiner lukket mellem solnedgang og solopgang			
	4.5	5	5.5	6
6,5	18	13	9	4
7	21	17	13	8
7,5	23	19	16	12
8	26	22	18	15
8,5	27	24	21	17

Ud fra besparelserprocenterne kan reduktionen i CO₂ emissionen beregnes ud fra den anvendte energikilde for en given ændring i varmekonsumet.

Tabel 31. Reduktionen i CO₂-emissionen i kg pr. kvadratmeter i perioderne januar-april og september-december ved ændring i varmekonsumet for et fritliggende væksthuse ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Ændring i varmekonsumet (Wm ⁻² K ⁻¹)	Fjernvarme	Naturgas	Gasolie	Fuelolie	Kul
0,5	3	5	7	7	9
1,0	6	11	14	15	18
1,5	10	16	21	22	27
2,0	13	21	28	29	36
2,5	16	27	35	37	44
3,0	19	32	42	44	53
3,5	22	38	48	51	62
4,0	25	43	55	58	71

Styring

Energibesparelsen er afhængig af den styringsstrategi, der bruges, og energibesparelsen stiger med den tid, som gardinerne er trukket for. Normalt styres gardinerne efter lyset og trækkes for sidst på dagen og åbnes igen om morgenen. Energibesparelsen i litteraturen er i langt de fleste tilfælde angivet efter denne simple styringsstrategi.

Der kan opnås en yderligere energibesparelse ved at styre gardinerne efter en energibalancemodel eller fremløbstemperaturstyring. De to nævnte styringsstrategier giver en yderligere energibesparelse i størrelsesordenen 10-15%, set i forhold til styring efter lys.

I mange agurkegartnerier bruges gardinerne kun om natten, hvis udendørstemperaturen er under 5 °C, hvilket selvsagt giver en mindre energibesparelse, end hvis gardinerne anvendes året rundt.

Økonomisk effekt

Det er vanskeligt at sætte en økonomisk effekt på brugen af gardiner. Det skyldes, at gartneriernes varmekonsum ikke er ens, og inden for et gartneri kan der være forskellige varmekonsum for hvert væksthuse. Da varmekonsumet afhænger af væksthuses alder, vedligeholdelsesstand og væksthustype, er det nødvendigt at inddrage denne viden for at kunne skønne den økonomiske effekt.

Et andet forhold, som vil spille ind, både på den økonomiske og miljømæssige effekt, er, hvilken energikilde der anvendes i gartneriet. Anvendes kul, er opvarmningsprisen lav, mens miljøpåvirkningen er stor, fordi der dannes meget CO₂ pr. produceret energienhed. Bruges naturgas, er opvarmningsprisen højere, mens miljøpåvirkningen er mindre pga. mindre CO₂ emission (Tabel 31).

Klimaskærm

Overkitning eller dæklister til sprogter reducerer det naturlige luftskifte i væksthuset, og giver en energibesparelse. Der er ikke udført kontrollerede forsøg med tætning af væksthuse, men energitabet ved ukontrolleret luftskifte kan udgøre mere end 10% af det samlede energitab.

Udskiftning af enkeltlagsglas med f.eks. dobbelte kanalplader giver en energibesparelse på ca. 40%, set i forhold til glasvæksthus med gardiner. Hvis der monteres gardiner i et kanalpladevæksthus, er virkningen af gardinet relativt mindre end i et glasvæksthus.

Bedre udnyttelse af fjernvarme

1) Fjernvarme er, som ordet siger, transport af varme over lange afstande. For at opnå bedst mulig energiøkonomi i fjernvarme, skal afkølingen på forbrugsstedet være så stor som mulig. Det er be- kosteligt at pumpe store mængder varmt vand rundt, hvis afkølingen samtidig er meget lille. Her skal der ses på energiomkostningen til transport af energi i forhold til den forbrugte energimængde hos aftageren.

I gartnerier, tilsluttet fjernvarme, er varmepladen i væksthuse forøget for at kunne maksimere nedkølingen. En yderligere nedkøling kan ske ved brug af kaloriferer eller anblæste varmeplader.

Kaloriferer er kendte systemer, men har aldrig fundet anvendelse i gartnerierne. Anblæste varme- plader er ligeledes kendt teknologi, men de typer, som findes, er ikke egnede til brug i væksthuse, se endvidere afsnittet *Ekstraktionsanlæg i væksthuse*.

2) Energiekstraktion fra væksthus om sommeren muliggør, under forudsætning af høj virknings- grad, energiforsyning til fjernvarmenettet. Det kræver, at den ekstraherede energi via en varme- pumpe kan bringe vandtemperaturen op på 80 °C, før det kan pumpes ud i fjernvarmenettet. Her kan det erstatte varmt vand fra varmecentraler/kraftværksblokke, som om sommeren mest bruges til opvarmning af brugsvand.

En standard varmepumpe har typisk en udgangstemperatur på 60 °C. I varmepumper, hvor køle- midlet er baseret på CO₂, kan udgangstemperaturen bringes på 80 °C.

Ekstraktionsanlæg i væksthuse

Et energieksaktionsanlæg til et væksthus består af en luft-til-vand-varmeveksler, hvor vandsiden er forbundet til en aquifer. Et aquifersystem består af to vandboringer som går ned i et sandlag med stillestående grundvand. Den ene boring betegnes som den kolde del og den anden er den varme del. Ved energieksaktion pumpes vand op fra den kolde boring og ledes igennem varme- veksleren. Den varme og fugtige luft i væksthuset blæses igennem varmeveksleren og en del af energien i luften overføres til vandsiden. Det opvarmede vand pumpes ned i den varme del af aqui- feren.

Når væksthuset skal opvarmes, pumpes vand op fra den varme del af aquiferen og ledes igennem en varmeveksler, som er forbundet til en varmepumpe, der bringer vandtemperaturen op på et niveau, som gør den anvendelig til opvarmning af væksthuset, dvs. minimum 60 °C. Vand fra aqui-

feren ledes, efter det har været igennem den første varmeveksler, til en varmeveksler, som er forbundet til den kolde side på varmepumpen. Her bliver vandet yderligere nedkølet og pumpet tilbage i den kolde del af aquiferen. Dette er nødvendigt for at opnå termisk neutralitet.

Det er på nuværende tidspunkt meget vanskeligt at afgøre, hvor kosteffektiv metoden er, og det skyldes en række energitekniske forhold, hvor der ikke findes dækkende datagrundlag for væksthusse, mens de fysiske forhold lettere kan beskrives.

Lufts varmekapacitet er ca. $1 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ og vands $4 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. Rumfangsmæssigt forholder det sig anderledes, idet 1 m^3 luft vejer ca. 1,2 kg, og energimængden, ved samme temperatur, giver volumenmæssigt mellem vand og luft et forhold på ca. 1:4000. Der skal en meget stor luftmængde igennem en luft-til-vand-varmeveksler for at kunne ekstrahere energien i den varme luft fra væksthuset. Dimensioneringsgrundlaget for det mekaniske ventilationsanlæg i det hollandske lukkede væksthuse er $10.000 \text{ m}^3/\text{time}$ pr. 1000 m^2 . Det svarer til et tvunget luftskifte på 2,5 gange i timen. Til sammenligning ligger det på samme niveau, som Arbejdstilsynets anbefalinger for et undervisningslokale, men et væksthuse på $2000\text{-}3000 \text{ m}^2$ er meget forskelligt fra et undervisningslokale på 60 m^2 .

Luftfugtigheden i et væksthuse er bestemt af transpirationshastigheden fra planterne, kondenseringen på kolde glasflader og størrelsen af naturlig ventilation. Vands fordampningsvarme er 2500 kJ/kg . En del af den energi, som luften indeholder i form af vanddamp, udtrækkes, når luften passerer igennem varmeveksleren. Vanddampsmængden, som kondenseres, vil afhænge af temperaturændringen over varmeveksleren, da der kun vil ske kondensering, så længe vekslerens temperatur er lig med eller lavere end dugpunktstemperaturen. Mængden af vanddamp får derfor meget stor betydning for den såkaldte COP (virkningsgrad) på systemet.

Varmesystemet i et væksthuse består af glatte stålrør og for at få en tilstrækkelig varmeafgivelse, er det nødvendigt at have høj fremløbstemperatur til varmesystemet. Alternativt kan vand fra den varme del af aquiferen ledes igennem en kalorifer eller anblæste varmeblæser, men pga. vandtemperaturen vil det kræve meget store luftmængder at opnå en tilstrækkelig varmeafgivelse til at kunne opretholde den ønskede lufttemperatur i væksthuset. Samtidig må det antages, at nedkølingen af vandet fra den varme del af aquiferen bliver for lille til, at der kan opnås termisk neutralitet.

Datamaterialet vedr. drift og energiforhold af energiekstraktionssystemer og aquiferer er mangelfuldt i relation til brug i gartnerierhvervet og i den sammenhæng skal der ikke blot ses på energiforbruget til opvarmning, men også til affugtning.

Optimal klimastyring (klimacomputer, sensorer, måleudstyr)

Dynamisk klimastyring baserer sig på en sænkning af varmesætpunktet og en hævnning af ventilations-sætpunktet, kombineret med lysafhængigt ventilationstillæg og evt. en lysafhængig CO₂ koncentration. Optimal klimastyring betegnes almindeligvis ved optimering af produktionen i væksthuse med hensyn til udbytte, kvalitet og økonomi.

Alle klimacomputersystemer har faciliteter i softwaren til dynamisk klimastyring og de nødvendige sensorer. I et par af klimacomputersystemerne er det muligt yderligere at lægge modeller ”på toppen” af softwaren, men dette er ikke en garanti for yderligere energibesparelse. Der udbydes ikke kommercielle softwarepakker til energibesparende klimaregulering, men klimacomputerfirmaerne tilbyder at tilrette programmer til at opfylde specielle krav. Valget af parametre har betydning for optimeringen, og desuden er der den menneskelige faktor, hvor optimering af planteproduktionen sættes over for reduktion af energiforbruget. Det sker typisk, hvis planterne skal være salgsklare inden for en given tidsfrist, f.eks. jul og påske.

Alt andet lige, vil en sænkning af varmesætpunktet give en energibesparelse, fordi den temperaturforskel, som skal opretholdes mellem inde og ude, bliver mindre. Teoretisk set kan en energibesparelse på 25-30% på årsbasis opnås, hvis varmesætpunktet sænkes fra 20 til 16 °C, men konsekvensen af en temperatursænkning på plantevæksten kan have store indflydelse på produktionstiden.

Et forhold, som har afgørende betydning for klimastyringen, er sensorernes stabilitet. Manglende kalibrering af for eksempel luftfugtighedssensorer kan medføre en fejlagtig fugtstyring.

Ny energiteknologi med potentiale

De nedenstående teknologier er teknologier som ikke bruges i gartnerierne i dag, men som har et stort potentiale. Kendetegnet ved nedenstående teknologier er, at de er kendte, men ikke anvendt i væksthuse pga. manglende viden og resultater omkring deres anvendelse. Derfor er det ikke muligt at fastsætte et potentiale for deres reduktion af væksthuseproduktionens miljøbelastning.

LED belysning

Inden for belysning bruges i større og større omfang lysdioder(LED). Det skyldes at udviklingen inden for lysdioder har bevirket, at de er blevet mere og mere energieffektive og ligger i energieffektivitet tæt på højtryksnatriumlamper, hvor mere end 30% af den tilførte energi bliver omsat til synligt lys.

Ulempen ved lysdioder er, at de er små og at hver enkelt lysdiode kun udsender lidt lys. Det betyder dog mindre til indendørs belysning, hvor mange lysdioder kan sættes sammen og lysstyrken på den måde kan øges. I væksthuse ønskes små belysningsarmaturer, for at få så lille skyggevirksomhed som muligt.

Der er markedsført LED armaturer til planteproduktion i grorom eller flerlagsdyrkning, men de ikke designet til at erstatte de nuværende lysarmaturer i væksthuse.

LED armaturerne er dels udviklet som færdige produktionsmoduler med fast spektralfordeling dels som enkeltmoduler, som indeholder lysdioder der kun udsender lys i et snævert bølgelængdeområde. Ved at kombinere forskellige antal af moduler kan lysintensiteten og spektralfordelingen designes til et specifikt behov. Anvendelsesmulighederne inden for den nuværende LED teknologi ligger som tidligere nævnt i flerlagsdyrkning eller til salgsklare planter, som er sat på lager.

En enkelt dansk virksomhed arbejder på at udvikle et LED belysningsystem, som kan erstatte højtryksnatriumlamper, men der forligger ikke offentliggjorte resultater om energieffektivitet og planteproduktion. Systemet er under fortsat udvikling, og der findes en prototype som er installeret i et lille antal i nogle få gartnerier.

For LED belysning går udviklingen hurtigt, men der kan gå nogle år før teknologien er moden til anvendelse i gartnerierne og før højtryksnatriumlampen kan erstattes af lysdioder.

Stykprisen for et specialdesignet LED modul til grorom/ flerlagsdyrkning er ca. 1100,- kr. og for moduler med specifikke bølgelængder ca. 600,- kr., men på grund af manglende viden om systemets effektivitet og lysfordeling, er det ikke muligt at beregne en investeringspris pr. kvadratmeter væksthuse.

Varmepumpe til opvarmning

Der kan ligge en god mulighed for gartnerierne i at gå fra fossilt brændsel til opvarmning vha. varmepumpe. Det skyldes to årsager. For det første stiger den vindbaserede el-produktion, hvilket gør det relevant at se på el til opvarmning. For det andet er der udviklet varmepumper med højere afgangstemperatur på op til 80 °C mod hidtil ca. 60 °C, hvilket gør dem anvendelige til opvarmning af væksthuse. Varmepumpen vil kunne tilsluttes direkte til det eksisterende varmesystem.

Investering i et varmepumpeanlæg til opvarmning af væksthuse vil ligge i størrelsesordenen 800-1200 kr. pr. kvadratmeter væksthuse. Det er næppe realistisk at basere hele gartneriets opvarmning på varmepumper, men der er altid et minimumsforbrug af energi til opvarmning af væksthusearealet, som kan dækkes vha. en varmepumpe. Det vil nedbringe investeringsbehovet samtidig med at det vil kunne reducere energiforbruget til ca. en tredjedel (dog afhængig af virkningsgraden på varmepumpen) af den del af varmebehovet, som varmepumpen dækker.

Anvendelse af varmepumper i gartnerierne kan have energimæssige sidegevinster. En varmepumpe har en "kold side" som kan bruges til køling. Varmepumpen kan helt eller delvist erstatte kølekompressorer til kølerum eller til røggaskøling fra kedler eller gasmotorer, hvor sidstnævnte vil

være medvirkende til en forøgelse af varmepumpens effektfaktor og forøgelse af varmeanlæggets virkningsgrad.

Mekanisk ventilation til luftfugtighedsstyring

Luftfugtighedsstyring i væksthuse sker i dag uden varmegenindvinding, fordi luftfugtighedsstyring sker ved at åbne ventilationsvinduer og samtidig tilføre varme til væksthuset. Det skønnes at mellem 15 og 20% af det samlede energiforbrug i et gartneri anvendes til luftfugtighedsstyring.

Ved at gå væk fra brug af naturlig ventilation til affugtning og erstatte det med mekanisk ventilation er det muligt at foretage varmegenindvinding. Ved at bruge en krydsvarmeveksler, vil luften, som blæses ind ude fra, blive opvarmet af luften som blæses ud fra væksthuset.

Investering i et mekanisk ventilationssystem til affugtning vil ligge i størrelsesordenen 300-500 kr. pr. kvadratmeter væksthuse.

Pesticidreduktion i gartnerisektoren

Rækkedyrkningsystemer

Systemer til ukrudtsbekæmpelse i rækkedyrkede afgrøder kan bestå af en radrenser eventuelt i kombination med en båndsprøjte. Systemet kan primært anvendes i afgrøder, der dyrkes på stor rækkeafstand som roer, majs samt en række specialafgrøder. Systemet er også relevant i afgrøder, der normalt etableres bredsået, men som kan dyrkes på større rækkeafstand uden at det påvirker udbyttet. Det vigtigste eksempel er vinterraps, hvor det i en periode, hvor udvalget af herbicider var meget begrænset, var ret udbredt at dyrke på 50 cm rækkeafstand og foretage radrensning evt. i kombination med båndsprøjtning. Der er ikke specielle krav til såudstyret. Ved at kombinere med styresystemer i form af GPS styring af såning, radrensning og båndsprøjtning, eller ved at anvende optiske styresystemer, kan båndbredden reduceres og anvendelsen af herbicider minimeres i systemet. Båndsprøjtning kan foretages med uafskærmede sprøjter eller med sprøjter, hvor dyserne er afskærmet. Afskærmning af dysen ved båndsprøjtning sikrer en mere korrekt sprøjtning og reducerer afdriftsrisikoen væsentligt.

I kartofler kan mekaniske løsninger udgøre en del eller hele ukrudtsbekæmpelsen i form af gentagen hypning, nedtagning af kammene og genopbygning af kammene.

Radrensning, herunder i kombination med båndsprøjtning, har tidligere været udbredt i forbindelse med ukrudtsbekæmpelse i roer. Primært af kapacitetsmæssige årsager blev teknikken afløst af bredsprøjtning. Inden for de senere år har systemet også kortvarigt været anvendt i vinterraps som

ovenfor beskrevet. Teknologien med GPS styring af alle arbejdsprocesser er til rådighed, ligesom optiske styresystemer er til rådighed, men de udbydes ikke i Europa.

Det skønnes at ovenstående systemer kan reducere herbicidanvendelsen med over 60% i de pågældende afgrøder.

Båndsprøjtning

Båndsprøjtning kan anvendes ved plantebeskyttelse med fungicider og insekticider i rækkedyrkede afgrøder som jordbær. Ved at anvende båndsprøjtning, hvor der anvendes en båndbredde, der svarer til kulturens båndbredde, reduceres pesticidanvendelsen i forhold til bredsprøjtning af kulturen. Reduktionen vil afhænge af hvilket dyrkningssystem, der anvendes. Der anvendes båndsprøjter med typisk flere dyser pr række. Dyserne kan være monteret indvendigt i en skærm, så sprøjtningen foretages afskærmet med en reduceret afdriftsrisiko.

Båndsprøjtningssystemer til jordbær, herunder afskærmede udgaver, har en vis udbredelse i jordbær. Det skyldes, at der en kortvarig periode var et hyppigt anvendt fungicid på markedet, som kun måtte anvendes, hvis udbringningen blev foretaget med afskærmet udstyr, der kunne sikre en minimal afdriftsrisiko.

Det vurderes at båndsprøjtningsteknologien kan reducere fungicidforbruget med 20-40%.

Sprøjteteknologi i frugt og bær

Ved sprøjtning med fungicider og insekticider i frugt- og bærkulturer anvendes tågesprøjter. Sprøjttevæsken udsprøjtes horisontalt fra sprøjten samt opad for at kunne dække hele kulturhøjden.

Sprøjteteknologien forudsætter således, at der sprøjtes mod en "kulturvæg" med konstant højde. I unge kulturer vil der være huller i denne væg, og specielt i unge kirsebærplantager vil kun en mindre del af sprøjttevæsken blive opfanget af kulturen. Ved tidlige sprøjtninger før udspring vil en stor del af sprøjttevæsken ligeledes gå tabt. I etablerede plantager vil der være huller i plantebestanden, og kulturhøjden vil variere. Når det tilstræbes at dække i maksimal kulturhøjde, vil dette også medføre et tab. Selv i veletablerede kulturer vil der generelt være en vis hulprocent igennem hele sæsonen. Der er udviklet to teknologier med henblik på at reducere disse tab, samt reducere afdriften ved tågesprøjtning:

1. Tunnelsprøjter med recirkulering af sprøjttevæske

Som navnet antyder, er disse sprøjter udformet som en tunnel, hvori dyserne er monteret. Sprøjterne kan anvendes i de nye dyrkningssystemer af frugt, hvor kulturhøjden er begrænset til nogle få meter. Under kørsel passerer kulturen igennem tunnelen, og sprøjttevæske, der ikke rammer kulturen, opfanges af den modstående tunnelside. Sprøjttevæsken filtreres og genanvendes, og både pesticidforbruget og afdriften reduceres.

2. Sensorafblænding af dyser på tågesprøjter

Sensorafblænding er en teknologi, der anvendes på almindelige tågesprøjter. En række sensorer, svarende til antallet af dyser, er monteret på sprøjten foran dyserne og registrerer huller i plantebestanden. Hvor der er registreret et hul i plantebestanden, der svarer til den bredde dysen dækker, lukkes for den tilsvarende dyse i det tidsinterval, der svarer til længden af hullet i plantebestanden.

Teknologierne med tunnelsprøjter med recirkulering af sprøjtevæske og sensorafblænding af dyser på tågesprøjter er kommercialiseret og har en begrænset anvendelse i Europa. I Danmark menes der pt. at være to tunnelsprøjter og én tågesprøjte med sensorafblænding.

Det skønnes at tunnelsprøjter med recirkulering af sprøjtevæske og sensorafblænding af dyser på tågesprøjter kan reducere fungicid og insekticidanvendelsen i frugt- og bærkulturer med ca. 20%.

Sensorbaseret ukrudtssprøjte

Ved total bekæmpelse af ukrudt kan der anvendes en relativt simpel sensorteknologi, der registrerer grøn biomasse. Teknologien er specielt anvendelig ved total ukrudtsbekæmpelse, hvor al plantevækst er uønsket. Teknologien kan være relevant ved total ukrudtsbekæmpelse af ukrudt før afgrødens fremspiring. Under afgrøderækken i kulturer af frugt og bær foretages ligeledes total-ukrudtsbekæmpelse og typisk flere gange i sæsonen. Her er teknologien ligeledes relevant og vil kunne spare en væsentlig del af herbicidanvendelsen. Disse sprøjtninger foretages med smalt specialudstyr, der kræver få sensorer pr. sprøjteenhed. Teknologien er kommercielt til rådighed og markedsføres i Danmark.

Det skønnes at teknologien vil kunne reducere herbicidanvendelsen med op til 80%.

For en beskrivelse af de enkelte sensorsystemer, se under indsatsområde 2.

Lugerobot til udplantede grøntsager

Der er udviklet lugerobotter til ukrudtsbekæmpelse både mellem og i rækkerne i udplantede grøntsager som kål, salat, selleri, løg, porre m.m. Redskaberne er udstyret med kameraer, der kan genkende afgrødeplanter, og derved få de mekaniske lugeaggregater til at undvige afgrødeplanterne. Med lugerobotterne vil der være potentiale for en fuldstændig ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse i udplantede grøntsager med et kun begrænset behov for opfølgende håndlugning - sandsynligvis intet behov i mange tilfælde. Der mangler dog dokumentation for dette. Vores vurdering er, at lugerobotterne i deres nuværende udformning og funktion vil kunne fjerne mellem 60-80% af ukrudtet i rækken, alt afhængig af afstanden mellem planterne i rækken og størrelsen på zonen omkring planten, hvor der ikke luges for at undgå afgrødeskader. Anvendelse af lugerobotter er mest oplagt i den økologiske produktion, men i flere konventionelt dyrkede havebrugsafgrøder er mulighederne for kemisk ukrudtsbekæmpelse så begrænsede, at teknologien også er interessant.

Det findes pt. to kommercielt tilgængelige systemer i Danmark, og det menes, at der er solgt en, måske nogle få, lugerobotter på det danske marked.

Teknologien fjerner behovet for herbicider, dvs. 100% reduktion, men der må forventes en vis supplerende manuel indsats.

Rækkedampning i kombination med radrensning

Rækkedampningsudstyr bruges til bekæmpelse af ukrudt i rækken forud for udsåede grønsagskulturer og andre højværdiafgrøder, sået på rækker. Ved rækkedampning steriliseres jorden i det bånd, hvor kulturen efterfølgende udsås. En vel gennemført rækkedampning kan reducere behovet for efterfølgende bekæmpelse af ukrudt til nærmest nul. I praksis kan man påregne en bekæmpelseeffekt på 80-90%. Ukrudtseffekten holder det meste af sæsonen, og dampningen bekæmper også andre skadevoldere såsom jordpatogener. Såfremt rækkedampning og såning foretages i to arbejds gange, kan autostyring anvendes for at begrænse båndbredden. Rækkedampning kombineres med radrensning. Anvendelse af rækkedampningssystemet er mest oplagt i økologisk produktion, men i flere konventionelt dyrkede afgrøder er mulighederne for kemisk ukrudtsbekæmpelse nu så begrænsede, at teknologien også er interessant.

Et eksempel på pris og kapacitet er en 9 rækkers maskine fra Yding smedie. Maskinen behandler 3 bede med hver 3 rækker og er udstyret med en 900 liters kedel: 650.000 DKK, kapacitet 0,05 -0,1 ha pr. time, hertil skal lægges tid til optankning, vendinger og stop. Vandforbrug 9000 liter/ha og olieforbrug på 600 – 1000 liter/ha. Der er en (få) enhed(er) i drift i Danmark.

Teknologien erstatter indsatsen med herbicider, dvs. 100% reduktion af herbicidanvendelsen i kombination med en supplerende manuel indsats.

Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i flerårige ved-agtige rækkeafgrøder

Der findes flere modeller af sideforskudte traktordrevne fræsere til mekanisk renhold i træerækker. Metoden bliver brugt af økologiske avlere, men har en nyhedsværdi for konventionelle avlere.

Disse behandlinger kan totalt afløse brug af herbicider i konventionelle flerårige ved-agtige rækkeafgrøder. Normalt behandles der 2-3 gange med herbicider om året.

Klimastation og software til varsling af æbleskurv og æblevikler

Ved brug af klimastationer til registrering af lokale klimaforhold: lufttemperatur, blad- og luftfugtighed i plantemassen, samt nedbør kan der via kombination med udviklet software foretages en optimal timing af fungicidbehandlinger mod æbleskurv og insekticidbehandlinger mod æblevikler. Dette beslutningsstøttesystem vil kræve et kursus med opfølgninger for at brugerne kan udnytte systemet optimalt.

Afhængig af de aktuelle årlige klimaforhold forventes det at kunne nedbringe de aktuelle behandlinger mod æbleskurv med op til 50% (fra 20 til 10) og behandlinger mod æblevikler ligeledes med 50% (fra 2 til 1).

Varmtvandsbehandling til forebyggelse af lagerråd af æbler

Dypning af æbler i varmt vand ved 50-52°C i 3 min efter høst kan reducere udvikling af frugtråd på frugtlageret med 80-90% når det gælder svampesygdommene: *Gloeosporium*, *Monilia* og frugttræskræft. Der forefindes udstyr til dypning til ca. 500.000 kr.

Der forventes at 2-4 forebyggende fungicidsprøjtninger udført i marken kan undlades, hvis metoden med dypning af frugt i varmt vand bruges.

Referencer

- Aaes, O., J.M. Andersen, N. Gyldenkerne, A.G. Hansen, B.H. Jacobsen, H. Kjær, P. Pedersen & H.D. Poulsen. 2008. Evaluering af det generelle ammoniakkrav. Miljøstyrelsen.
<http://www.mim.dk/NR/rdonlyres/00287B6C-9C67-49CF-9394-73F2739051Fo/o/Ammoniakevalueringrapport.pdf>
- 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.
- 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.
- Gerhards, R. & S. Christensen. 2003. Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. *Weed Research* 43, 385-392.
- 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. 2008. Nedfældning af gylle i vintersæd – en evalueringsrapport. Rapport udarbejdet af Agro-Tech for Miljøstyrelsen.
- 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.
<http://web.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/djfhus84.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.

IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 10: Emissions from livestock and manure management. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf

Jensen, T.L. & M.J. Hansen. 2006. Slagtesvinestald 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.

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.

Kai, P. 2009. Køling af gyllen i gyllekanaler. Teknisk revidering af BAT-blade for landbrug. Udarbejdet af AgroTech. <http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/5B9F37DB-8C3C-4AC0-AACB-6C39BDFB9E3B/79385/SvSto1RevideringBATbladeGylleklingSvin1.pdf>

Kai, P., J.S. Strøm & B.-E. Jensen. 2007. Delrensning af ammoniak i staldluft. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Grøn Viden Husdyrbrug nr. 47. <http://www.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/gvhus47.pdf>

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. [http://pure.au.dk/portal/da/publications/oversigt-over-og-vurdering-af-miljoeteknologier-i-det-primære-jordbrug--driftsoekonomi-og-miljoeffektivitet\(af052eeb-d0b7-4162-bb5b-7a3c71529072\).html](http://pure.au.dk/portal/da/publications/oversigt-over-og-vurdering-af-miljoeteknologier-i-det-primære-jordbrug--driftsoekonomi-og-miljoeffektivitet(af052eeb-d0b7-4162-bb5b-7a3c71529072).html)

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. [http://pure.au.dk/portal/da/publications/oversigt-over-og-vurdering-af-miljoeteknologier-i-det-primære-jordbrug--driftsoekonomi-og-miljoeffektivitet\(cc9970d4-3ed1-442a-9348-5d618b30b9dc\).html](http://pure.au.dk/portal/da/publications/oversigt-over-og-vurdering-af-miljoeteknologier-i-det-primære-jordbrug--driftsoekonomi-og-miljoeffektivitet(cc9970d4-3ed1-442a-9348-5d618b30b9dc).html)

Landbrugsinfo. 2011. Økonomi ved slangeudlægning af forsuret gylle. Meddelelse nr. 408 om Produktionsøkonomi.

http://www.landbrugsinfo.dk/Oekonomi/Produktionsoekonomi/Maskinoekonomi/Sider/pl_11_408.aspx

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.

Lyngvig, H.S. 2012. Nye perspektiver for injektionssprøjter. Sammendrag af indlæg, Plantekongres 2012, 52-53 samt powerpoint præsentation på www.plantekongres.dk.

Mikkelsen, S.A., S. Christensen, P.H. Schaarup, L. Vejbæk, I. Ravn, N.H. Lundgaard, O. Aaes, M. Lyngbye, R. Damkjer, 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. <http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/53A4E928-3D24-407F-B8D6-E1C8EF4F4CEF/83989/SlSto2luftrensBATbladudenkor.pdf>

Miljøstyrelsen. 2009b. Svovlsyrebehandling af gyllen i slagtesvinestalde. Miljøstyrelsens BAT-blade. 1. udgave, 19.05.2009. http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/30736487-27C8-48EA-A4DA-619865890F67/o/Forsuring_gylle_slagtesvinestalde.pdf

Miljøstyrelsen. 2009c. Svovlsyre behandling af kvæggylle. 2. Udgave. Miljøstyrelsens BAT-blade. 2. udgave, 19.05.2009. <http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/95E72216-4024-4881-AE3A-5FA05E2A486F/84000/MaSto1forsuringkvgBATbladudenkor.pdf>

Miljøstyrelsen. 2009d. Køling af gyllen i svinestalde. Miljøstyrelsens BAT-blade. 1. udgave, 19.05.2009. <http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/53A4E928-3D24-407F-B8D6-E1C8EF4F4CEF/83987/SvSto1klingBATbladudenkor.pdf>

Miljøstyrelsen. 2010a. Skrabere i gangarealer i stalde med malkekvæg. Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 30.06.2010. http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/AEED9CC9-30B7-41A8-AE44-61F5A977ADB6/o/Skraberepa_gangarealeristaldetilmalkekoe.pdf

Miljøstyrelsen. 2010b. Forudsætninger for de økonomiske beregninger ved forsuring. Søer og smågrise. Miljøstyrelsen. <http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/DA7066CC-7F99-47D0-9C57-6BA9F5609E1F/o/forudsætningerbatjuni2010forsuringKS.pdf>

Miljøstyrelsen. 2010c. Forudsætninger for de økonomiske beregninger ved gyllekøling. Søer og smågrise. Miljøstyrelsen. <http://www.mst.dk/NR/ronlyres/90DC6C85-8CF7-45C7-8326-05ACEA43660A/o/BaggrundsnotatgyllekølingnyKS.pdf>

Miljøstyrelsen 2010d. Forudsætninger for de økonomiske beregninger for fjerkræ. Teknologiblade. Udarbejdet af NIRAS. Miljøstyrelsen. 11 pp. <http://www.mst.dk/NR/ronlyres/70C45E55-DE22-429B-88E4-492BB98C6BoF/o/Forudsætningerforøkonomiskeberegningerforfjerkræ.pdf>

Miljøstyrelsen 2010e. Fast overdækning af gyllebeholdere. Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 11.11.2010. http://www.mst.dk/NR/ronlyres/1FCoBFCA-3BF4-4795-A060-46069A1463A8/o/Fastoverd%C3%A6kning_svin_mink_kv%C3%A6g_endelig_101108.pdf

Miljøstyrelsen. 2011a. Biologisk luftrensning (slagtesvin). Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 23.05.2011. http://www.mst.dk/NR/ronlyres/9FE40C03-D086-458D-914B-2E4A72FEDEF7/o/Slagtesvin_Biologiskluftrensning_VERSION2.pdf

Miljøstyrelsen. 2011b. Biologisk luftrensning (søer). Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 1. Udgave, 29.04.2011. http://www.mst.dk/NR/ronlyres/661B6400-5F05-4B59-AD61-ECB89F42B8BA/o/Biologiskluftrensningsostalder_version1.pdf

Miljøstyrelsen. 2011c. Biologisk luftrensning (smågrise). Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 1. Udgave, 29.04.2011. http://www.mst.dk/NR/ronlyres/F1E7D9A2-42BA-43ED-A585-1A0B6E3F9766/o/Biologiskluftrensningsm%C3%A5grise_version1.pdf

Miljøstyrelsen. 2011d. Etagesystem ved ægproduktion. Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 17.05.2011. <http://www.mst.dk/NR/ronlyres/896EE861-D177-498A-8A4C-4B0553703910/o/Etagesystemtilægproduktion.pdf>

Miljøstyrelsen. 2011e. Hyppig fjernelse af gødning fra æglæggende høns som ikke holdes i bur (alternativ hønsehold). Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 17.05.2011. <http://www.mst.dk/NR/ronlyres/DF4B98C-A0B0-4A32-8B0B-CD151145CBA4/o/Hyppigjernelseafgødningfraæglæggendehønsomikkeholdesibur.pdf>

Miljøstyrelsen. 2012. Teknologilisten – Miljøeffektive og driftsikre landbrugsteknologier. Opdateret august 2012. http://www.mst.dk/Virksomhed_og_myndighed/Landbrug/Husdyrgodkendelser/bat/Teknologiliste_ny.htm

- 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(4): 385-394.
- NIRAS. 2009. Forudsætninger for de økonomiske beregninger af BAT teknologier. Revidering af økonomiske oplysninger i BAT blade. Miljøstyrelsen, maj 2009.
<http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/34937BAE-31D3-4637-AF9A-6B665C5BD44E/o/BATforuds%C3%A6t%C3%B8koberegningmaj09.pdf>
- 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.
- Nyord T. & M.N. Hansen. 2008. Soil injection of animal slurry to growing cereals – effects on odour emission, draught requirement and yield. *Proceeding of the 13th RAMIRAN International Conference in Bulgaria*, 147-152.
- 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.
http://www.danishpigproduction.net/Publikationer/Kilder/lu_medd/2007/792.aspx?full=1
- Pedersen, P., K. Albrechtsen. 2012. JH Forsuringsanlæg i slagtesvinestald med drænet gulv. *Meddelelse nr. 932*. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_medd/2012/932.aspx
- 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. http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_medd/2010/878.aspx

- 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. http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_medd/2010/883.aspx
- Pedersen, H. H. & C. H. Laursen, 2001. Marksprøjter med injektionssystem og GPS. Farmtest Plan-teavl nr. 2, 2001. Landbrugets Rådgivningscenter.
- Pedersen, S. & P. Sandbøl. 2002. Ammonia Emission and Nitrogen Balances in Mink Houses. Bio-systems Engineering, 82, 469-477.
- Petersen S.O. & J. Eriksen. 2008. Acidic slurry more climate-friendly. Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University. http://agrsci.au.dk/en/nyheder/browse/10/artikel/acidic-slurry-more-climate-friendly/?no_cache=1
- 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. <http://web.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/djfh36.pdf>
- Poulsen, H.D. 2011. Normtal for husdyrgødning – 2011. Aarhus Universitet. http://agrsci.au.dk/fileadmin/DJF/HBS/HEM/normtal2011_28032012.pdf
- Riis, A.L. 2008. Ammoniakreduktion og driftsomkostninger ved Bovema S-air ét-trins luftrensere i en smågrisestald. Meddelelse nr. 820, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning. http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_medd/2008/820.aspx?full=1
- Riis, A.L., M. Lyngbye & A. Feilberg 2008. Afprøvning af vertikalt biofilter efter amerikansk princip. Meddelelse nr. 819, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning. http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_medd/2008/819.aspx
- 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. http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_medd/2009/842.aspx?full=1
- Riis, A.L. 2010a. Biofilter kombineret med Farm AirClean BIO modul fra SKOV a/s. Erfaring nr. 1001, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning. http://www.danishpigproduction.dk/Publikationer/Kilder/lu_erfa/2010/1001.aspx
- Riis, A.L. 2010b. Biologisk luftrensere fra Veng-system. Erfaring nr. 1008, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning. http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_erfa/2010/1008.aspx?full=1

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.

http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_medd/2012/930.aspx

Riis, A.L. & T.L. Jensen. 2007. BIO-REX Hartmann Bio-Filter afprøvet ved en slagtesvinestald. Meddelelse nr. 807, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

http://arkiv.dansksvineproduktion.dk/Infosvin%20kilder/lu_erfa/2009/.html?id=5a9ee256-f5fb-4aba-8882-98b8203f589b&templateuid=08004d2f-of3b-47d9-a674-8785310e6190

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.

Skov- & Naturstyrelsen. 2004. Vejledning om pelsdyrfarme. Miljøministeriet, Skov- & Naturstyrelsen, 25. marts 2004. http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/CFCCF420-4BAE-4C6C-BBD3-8BAAA7BC3A2F/53961/vejledning_25_marts_2004.pdf

Skov- & Naturstyrelsen. 2006. Faglig rapport vedrørende en ny lugtvejledning for husdyrbrug. Miljøministeriet, Skov- & Naturstyrelsen, 66 pp. <http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/9DB1A208-455D-4E91-BF4B-B8FF084C38A5/32937/lugtrapport.pdf>

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 luftrensning fra Skiold A/S. Erfaring nr. 0807, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

http://arkiv.dansksvineproduktion.dk/Infosvin%20kilder/lu_erfa/2009/.html?id=c9230695-6fdd-425f-8c40-67891961d562&templateuid=08004d2f-of3b-47d9-a674-8785310e6190

Sørensen, K. 2011. Afprøvning af biologisk luftrensning fra Dorset Milieutechniek B.V. Meddelelse nr. 925, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_medd/2011/925.aspx

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.

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.

Bilag 1. Skematisk oversigt over tilgængelige miljøteknologier 2012

Reduktion af lugt og ammoniak	Kategori	Stald, lager, udbringning	Tilsigtet effekt	Teknologi	Effekt, relativ størrelse (pct.)	Effekt, absolutte størrelser pr. enhed (kg N pr. DE fra stald, lager & udbringning) eller kg N pr. ha.	Ca. indkøbspris kr.	Nyhedsværdi, udbredelse i DK	Status på teknologi	Etableringsomkostning pr. DE	Omkostning pr. kg sparet N	Andet, herunder problemer ved teknologien
	Svin	Stald	Ammoniak	Luftrensning, syrevasker, decentral	Ammoniakreduktion typisk mere end 90 % ved rensning af ventilationsluft.	Slagtesvin (drænet gulv): 11,4 kg N/DE v/100% luftrens; 10,2 kg N/DE v/60% luftrens; 7,0 kg N/DE v/20% luftrens.	Slagtesvin: 312 kkr. ved 75 DE til 3,8 mio. kr. ved 950 DE v/100% luftrensning	ca. 30 anlæg (jan 2009)	Optaget på MST teknologiliste. MST Teknologiblad foreligger.	ca. 3450-4200 kr./DE v/100% luftrens; ca. 2100-3850 kr./DE v/60% luftrens; ca. 950-2700 kr./DE v/20% luftrens	54-78 kr. v/100% luftrens; 45-79 kr. v/60% luftrens; 19-86 kr. v/20% luftrens.	Kræver løbende tilsyn og vedligeholdelse. Ikke størrelsesøkonomi ved 100% luftrens, men betydelig størrelsesøkonomi ved delluftrens. Problemer med tilstopning i fjærkæstalde pga. støv og kun få anlæg er opsat.
	Svin	Stald	Ammoniak, lugt	Biologisk luftrensning, decentral	NH3-reduktion >70% Lugteffekt fra 40 - 70%.	Slagtesvin (drænet gulv): 10,0 kg N/DE v.100% luftrens; 9,6 kg N/DE v.60% luftrens; 7,7 kg N/DE v.20% luftrens.	Slagtesvin (drænet gulv): 343 kkr. ved 75 DE til 4,4 mio. kr. ved 950 DE v/100% luftrensning	ca. 35 anlæg (medio 2009) hovedsageligt SKOV a/s	Biologiske rensere fra hhv. SKOV A/S og Dorset Milieutechnik B.V. optaget på MST teknologiliste. MST Teknologiblad foreligger.	ca. 4600 kr./DE v/100% luftrens; ca. 2750 kr./DE v/60% luftrens; 900-1800 kr./DE v/20% luftrens.	81-98 kr. v/100% luftrens; 53-71 kr. v/60% luftrens; 24-70 kr. v/20% luftrens.	Kræver løbende tilsyn og vedligeholdelse.
	Svin	Stald	Ammoniak	Gylleforursningsanlæg	Ammoniakreduktion op til 70% i stalde med drænet gulv. Også virkning på lager og mark	Slagtesvin (drænet gulv): 13,8 kg N/DE; smågrise (toklima): 10,5 kg N/DE; Drægtighedsstald (delv. fast gulv): 10,9 kg N/DE.	1,1 mio. v/75 DE til 1,7 mio. kr. v/950 DE.	ca. 80 anlæg (medio 2010)	Teknologiblad foreligger. Infarm og JH forsuring på MST teknologiliste.	ca. 15 kkr./DE v/75 DE og ned til ca. 1600 kr./DE v/950 DE.	Slagtesvin (drænet gulv): 150 kr. v.75 DE og ned til 22 kr. v.950 DE. Smågrise: 209 kr. v/75DE ned til 40 kr. v/950 DE; Drægtige søer: 169 kr. v/75 DE ned til 28 kr. v/950 DE.	Betydelig størrelsesøkonomi. Kan forårsage lugtgener i området omkring processtanken, samt i forbindelse med udbringning. Kan ikke bruges ved meget halm i stald. Overskud af svovl i marken ved normale gyllemængder pr. ha. Ikke tilladt i økotalde.
	Svin	Stald	Ammoniak	Gyllekøling	Ammoniakreduktion i stald: op til 30 %	Afhænger af køleeffekt. 1,8-4,7 kg N/DE i drægtighedsstalder; 0,5-1,4 kg N/DE i smågrisestalde (toklima); 1,0-2,7 kg N/DE i slagtesvinest. m/25-49% fast gulv; og 0,7-2,0 kg N/DE slagtesvinestalde med 50-75% fast gulv.	Afhænger af stalddtype og køleeffekt. 80 kkr v/75 DE til 1,4 mio. kr. v/950 DE	ca. 300 anlæg i DK (Jan. 2009)	MST Teknologiblad foreligger. Registreret i MST teknologiliste.	Søer: 900-2200 kr./DE; smågrise (toklima): ca. 450 - 1400 kr./DE; slagtesvin: ca. 600-1100 kr./DE	Slagtesvin (25-49% fast gulv): gns. 198-243 kr. v/0% varmeudnyttelse til gns. -95 til -170 kr. ved 100% varmeudnytt.; Smågrise (toklima): gns. 97-109 kr. v/0% varmeudnytt. til gns. -52 til -84 kr. v/100% varmeudnytt.; drægtighedsstalder: gns. 271-280 kr. v/0% varmeudnytt. til gns. -204 til -267 kr. ved 100% varmeudnyttelse.	Omkostningseffektivitet stærkt afhængig af nyttevirkning af varme. Primært aktuel i sobesætninger, hvor varmen kan genanvendes. Forventet levetid ca. 20 år, dog har cirkulationspumper og kompressor formodentlig kortere levetid grundet mekanisk slid.
	Svin/ kvæg	Mark	Ammoniak, lugt	Gylledæknings i voksende kornafgrøder	Lugtreduktion er markant. Ammoniakreduktion er i gennemsnit ca. 66 %	Svin ≈ 3,4 kg N/ha; Kvæg ≈ 0,8 kg N/ha, ved udbringning af hhv. 140 og 170 kg total N/ha	450.000-650.000 (merpris i forhold til slæbeslangeboom)	Ingen udbredelse	Ikke standard på markedet.	Svin ≈ 105; Kvæg ≈ 547 kr pr. kg sparet N	Drivhusgas emissionen øges i form af lattergasproduktion i jorden. Dog vurderes dette ikke at være af afgørende betydning under danske forhold.	
	Svin/ kvæg	Mark	Ammoniak, lugt	Gylledæknings i græsmarker	Ammoniak og lugtreduktion op til 80 %, men i gennemsnit sat til 45 %	Svin ≈ 8,9 kg N/ha; Kvæg ≈ 1,6,2, kg N/ha, ved udbringning af hhv. 140 og 180 kg total N/ha	100.000-200.000 (merpris i forhold til slæbeslangeboom)	Meget udbredt	Standard teknologi	7 kr pr ton gylle	Svin ≈ 32,5; Kvæg ≈ 21,8 kr pr. kg sparet N	Drivhusgas emissionen øges i form af lattergasproduktion i jorden. Dog vurderes dette ikke at være af afgørende betydning under danske forhold.
	Svin/ kvæg	Mark	Ammoniak, lugt	Gylledæknings i sort jord	Ammoniak og lugtreduktion op til 99 %, men i gennemsnit sat til 85 %	Svin ≈ 15,5 kg N/ha; Kvæg ≈ 27,9, kg N/ha, ved udbringning af hhv. 140 og 180 kg total N/ha	100.000-200.000 (merpris i forhold til slæbeslangeboom)	Meget udbredt	Standard teknologi	5 kr pr ton gylle	Her er der tale om øgede indtægter ikke omkostninger Svin ≈ 21,3; Kvæg ≈ 13,6 kr pr. kg sparet N	Drivhusgas emissionen øges i form af lattergasproduktion i jorden. Dog vurderes dette ikke at være af afgørende betydning under danske forhold.
	Svin/ kvæg	Mark	Ammoniak	Markforsuring	Ammoniakemission reduktion på ca. 40 %	Svin ≈ 2,7 kg N/ha; Kvæg ≈ 2,9 kg N/ha,	ca. 450.000 kr.	Kun få eksemplarer	Ikke standard på markedet.	Svin ≈ 46; Kvæg ≈ 46 kr pr. kg sparet N	Der er en risiko forbundet ved at håndtere konc. svovlsyre ude på en landbrugsbedrift.	
	Svin/ kvæg	Mark	Ammoniak	Tankforsuring	Ammoniakemission reduktion på ca. 40 %	Svin ≈ 2,7 kg N/ha; Kvæg ≈ 2,9 kg N/ha,	25.000 - 50.000 i forhold til alm.	Kun få eksemplarer	Ikke standard på markedet.	Svin ≈ 20; Kvæg ≈ 14 kr pr. kg sparet N	Der er en risiko forbundet ved at håndtere konc. svovlsyre ude på en landbrugsbedrift.	
	Svin/ kvæg	Stald	Lugt	Skorsten for øget afkasthøjde af ventilationsluft	Lugtreduktion beregnes vha. OML-Multi	ikke relevant		Kun få eksemplarer	Ikke standard på markedet.			

Gartneri	Frilandsgrønsager		Rækkedampning i kombination med radrensning. Båndbredde og dermed energiforbrug reduceres ved at kombinere med GPS teknologi	Rækkedampning før afgrødeetablering bekæmper ukrudt i rækken og sikrer meget minimal manuel indsats. 100 pct på herbicidforbrug		650.000 for 3 rækkers model	Begrænset	Til rådighed			
Gartneri	Frugtavler		Klimastation med tilknyttet software	50 % reduction på fungicid forbrug æble skurv og 50 % reduction på insekticider mod æblevæbner		30.000 for klimastation og ca 1000 kr årligt til opdatering af software	Begrænset	Til rådighed			
Gartneri	Frugtavler		Beholder med varmt vand og termostater, samt udstyr til nedsænkning og optagning	50-90 % reduction på infektioner af alvorlige lagerys sygdomme på æbler		500.000	Findes ikke i Danmark	Til rådighed			
Gartneri	Frugtavler		Mekanisk ukrudtsbekæmpelse	100 % reduction på herbicid forbrug, konventionelle avlerer		30-110.000 kr	Begrænset	Til rådighed			

Bilag 1. Skematisk oversigt over tilgængelige miljøteknologier 2012

Reduktion af pesticid-anvendelsen	Kategori	Afgrøde	Teknologi	Effekt, relativ størrelse (pct.)	Effekt (pct.)	Ca. indkøbspris kr.	Udbredelse i DK dvs. nyhedsværdi	Status på teknologi	Øget løbende driftsomkostning	Problemer
	Landbrug og gartneri		Rækkedyrkningsystem. Kan bestå af radrenser og evt båndsprøjte. Evt med styresystemer til begge.	Over 60 pct på herbicidforbrug		Radrenser 100.000 - 200.000 Båndsprøjter 15.000 - 30.000 Afskærmning til båndsprøjter	Radrensning og båndsprøjtning var tidligere udbredt. Styresystemer har begrænset udbredelse	Teknikken med styresystemer er til rådighed		
	Landbrug	landbrugs afgrøder	Autostyring og sektionfablænding af sprøjte (hindrer overlap ved sprøjtning)	5-10 pct		Autostyring ca 100.000 - 200.000 afh. af præcision Sektionsfablænding 15.000 - 30.000	Autostyring har begrænset udbredelse men stor andel af nysalg	Til rådighed		
	Landbrug	landbrugs afgrøder	Sensorbaseret ukrudtssprøjte (sikrer at der kun sprøjtes når der registreres ukrudt)	Meget varierende 20-80 pct afhængig af ukrudtstryk		70.000 for enhed på 1,2 m bredde	Begrænset	Til rådighed		
	Gartneri	Jordbær	Bånd/række-sprøjtning	ca. 20-40 pct på fungicidforbrug		Båndsprøjter 15.000 - 30.000 Afskærmning til båndsprøjter 3.000 - 5.000 pr skærm/række	Begrænset	Til rådighed		
	Gartneri	Frugtavli	Tunnelsprøjte med recirkulering af sprøjtevæske (sprøjtevæske der ikke rammer kultur opsamles og genbruges. Stærkt afdriftreducerende)	ca 20 pct		Fra 275.000	2 sprøjter i DK pt	Til rådighed		
	Gartneri	Frugtavli	Sensorfablænding af dyser på tagesprøjter. (Sensorer registrerer "huller" i plantebestand og lukker for dyse) Størst potentiale i unge kulturer og i tidlige vækststadier. Stærkt afdriftsreducerende.	ca 20-25 pct		fra 75.000	1 sprøjte i DK pt	Til rådighed		
	Gartneri og evt. landbrug	Frugt og bær og evt landbrug	Sensorbaseret ukrudtssprøjte (sikrer at der kun sprøjtes når der registreres ukrudt)	Meget varierende 20-80 pct afhængig af ukrudtstryk		70.000 for enhed på 1,2 m bredde	Begrænset	Til rådighed		
	Gartneri	Frilandsgrønsager	Lugerobot til udplantede grønsager Kål, salat, selleri m fl. Primært til økologisk produktion men relevant til konventionel produktion hvor der savnes effektive herbicider	Effekt er ikke dokumenteret men det skønnes at der kræves en vis supplerende manuel indsats. Ellers 100 pct på herbicidforbrug		Fra 360.000 for 3 rækker. Skal kombineres med radrensning	Begrænset	Til rådighed		

Gartneri	Frilandsgrønsager		Rækkedampning i kombination med radrensning. Båndbredde og dermed energiforbrug reduceres ved at kombinere med GPS teknologi	Rækkedampning før afgrødeetablering bekæmper ukrudt i rækken og sikrer meget minimal manuel indsats. 100 pct på herbicidforbrug		650.000 for 3 rækkers model	Begrænset	Til rådighed			
Gartneri	Frugtavl		Klimastation med tilknyttet software	50 % reduction på fungicid forbrug æble skurv og 50 % reduction på insekticider mod æblevæbner		30.000 for klimastation og ca 1000 kr årligt til opdatering af software	Begrænset	Til rådighed			
Gartneri	Frugtavl		Beholder med varmt vand og termostater, samt udstyr til nedsænkning og optagning	50-90 % reduction på infektioner af alvorlige lagerysgdomme på æbler		500.000	Findes ikke i Danmark	Til rådighed			
Gartneri	Frugtavl		Mekanisk ukrudtsbekæmpelse	100 % reduction på herbicid forbrug, konventionelle avlerer		30-110.000 kr	Begrænset	Til rådighed			

Bilag 1. Skematisk oversigt over tilgængelige miljøteknologier 2012

Reduktion af emission af klimagasser	Kategori		Teknologi	Effekt absolutte størrelser pr. enhed (CO2 ækvivalenter t)	Effekt (pct.) (Fødevarer/Erhverv udkast)	Ca. indkøbspris kr.	Udbredelse i DK dvs. nyheds-værdi	Status på teknologi	Øget løbende driftsomkostning		Problemer
	Gartneri		varmelagrung i jord	ukendt - afhænger den substituerede energimængde og brændselskilde		Udgiften er til aquiferen er ca. 5.000 kr. pr kW. Hertil kommer andre investeringer i form af varmevekslere etc.	Et anlæg er under etablering	Grundvandskøling har været brugt i industrien siden midten af 1990'erne. Desuden anvendes teknologien i nogle få hollandske væksthusegartnerier.			
	Gartneri		bedre isolering gennem udskiftning af væksthuses dækkemateriale	Mellem 5 og 150 kg CO2 pr. m2 pr. år afhængigt af energikilde og isoleringsgrad med 2-lags dækkemateriale	Mellem 5 og 49%	400-600 kr. pr. kvadratmeter overflade (inkl. montering)		Har været kendt siden slutning af 1970'erne			
	Gartneri		Nye gardinanlæg	Mellem 3 og 71 kg CO2 pr. m2 pr. år afhængigt af energikilde og ændring i varmemefbrugstal.	Mellem 4 og 27 % afhængigt af muligheden for at ændre varmemefbrugstallet.	100-200 kr. pr. kvadratmeter.	Hovedparten af pottplantgartnerierne har installeret gardinanlæg og gardiner anvendes i mindre grad i agurkegartnerier, men ikke i tomatgartnerier.	Har været kendt siden slutning af 1970'erne			
	Gartneri		LED belysning	Ukendt - afhænger virkningsgraden på belysningsystemet		Udgiften er ligger mellem 600 og 1100 kr. pr. armatur, men en egentligt investeringsomkostning kan ikke beregnes.	Der findes kun prototyper i nogle få gartnerier. LED arrays til grorur og flerlagsdyrkning er på markedet.	Teknologien er under udvikling			
	Gartneri		Varmepumpe til opvarmning	Afhænger af virkningsgraden, men varmepumper har høj virkningsgrad og energiforbruget kan forventeligt reduceres med mere en 30%.	Mellem 25 og 40% på det opvarmningsbehov som dækkes af varmepumpen.	800-1200 kr. pr. kvadratmeter	Der er et gartneri som har en varmepumpe.	Teknologien er kendt.			
	Gartneri		Mekanisk ventilation	Vil afhænge af virkningsgraden.		300-500 kr. pr. kvadratmeter.	Bruges ikke i dag i gartnerierne.	Teknologien er kendt.			

Bilag 2 Fastlæggelse af ammoniakemission under udbringning af husdyrgødning på ejendomsniveau

Ved beregning af omkostningseffektiviteten for så vidt angår miljøteknologier under indsatsområde 1 indgår ammoniakfordampningen i forbindelse med udbringning af husdyrgødning.

Ammoniakfordampningen i forbindelse med udbringning afhænger af en lang række faktorer bl.a.: husdyrart, og –kategori, afgrøde, udbringningstidspunkt, gyllens pH-værdi og udbringningsmetode. For at vurdere den samlede ammoniakemission fra henholdsvis stald, lager og udbringning eller isoleret set fra udbringning på en sammenligneligt grundlag, har det været nødvendigt at opstille typiske ejendomme med henholdsvis svin og kvæg. Grundlaget herfor er præsenteret i et særskilt Excel regneark (Bilag 3). Nedenfor er givet forklaringer på beregningerne i Bilag 3.

Emissionskoefficienter

I det grønne felt i Bilag 3 ses indtastede emissionskoefficienter. Alle disse koefficienter bygger på udregninger fra Alfam-modellen (Hansen et al., 2008).

I det røde felts venstre kolonne vises emissionskoefficienter for staldforsuret gylle. Disse koefficienter er ikke beregnet i Alfam-modellen, da denne teknologi ikke er medtaget i Alfam-modellen. Derfor er koefficienterne beregnet til denne lejlighed. Med undtagelse af juni og juli måned forventes emissionen at være 40% af emissionen ved slæbeslangeudbringning af ubehandlet gylle (det grønne felts venstre kolonne). For juni og juli måned forudsættes det i Alfam-modellen, at gylle bragt ud med slæbeslanger bliver tildelt kornafgrøder og dermed til afgrøder med 50-75 cm høj plantedække. Da realiteten i Danmark er, at alt det gylle, der bliver bragt ud i juni og juli, udbringes på slæt græsmarker, hvor afgrødehøjden typisk ikke er mere end 10 cm umiddelbart efter at et slæt er bjerget, estimeres emissionen for lavt for staldforsuret gylle, hvis reduktionen beregnes på baggrund af slæbeslangeudbragt gylle. Derfor fastsættes ammoniakemissionen fra staldforsuret gylle udbragt i juni og juli til 80% af emissionen fra græsnedfældet gylle. I forsøg udført af DJF, AU, i 2010 fandtes netop dette forhold mellem staldforsuret og græsnedfældet gylle (Nyord et al., 2010).

I det røde felts højre kolonne vises emissionskoefficienterne for SyreN- og Harsø forsuret gylle. Lige som for staldforsuring udgør koefficienterne en andel af de tilsvarende for slæbeslangeudbringning af ubehandlet gylle (det grønne felts venstre kolonne). Ammoniakemissionen vurderes til at være 60% af emissionen ved slæbeslangeudbringning. I forsøg ved DJF, AU, i 2010 blev sådan en reduktion målt ved forsuring til pH 6,5 eller mindre (Nyord et al., 2010). Af samme årsager som beskrevet for gylleforsuring i stalden, er ammoniakemissionen i juni og juli sat i relation til græsnedfældning og ikke slæbeslangeudbringning. Emissionen er estimeret til at være på samme niveau som ved græsnedfældning.

Fordeling af gylleudbringning over året

Opgørelserne for udbringning af gylle er baseret på et "normal" år og dækker altså over en stor variation fra år til år.

For hver af de teknikker der kan anvendes til gylleudbringning i Danmark, er det opgjort hvor stor en andel der udbringes i hver af de måneder, hvor der bringes gylle ud. Tallene bygger dels på en GFK analyse fra 2004 (Andersen, 2004) og dels på et skøn udarbejdet i samarbejde med Videncentret for Landbrug. Praksis for udbringning af gylle har ændret sig en del siden år 2004, og derfor kan resultaterne fra GFK analysen ikke bruges umiddelbart.

En af de markante ændringer ved udbringningspraksis siden 2004 er fremkosten af forskellige forsureningstekniker. Disse teknikker er nu inkluderet i den samlede vurdering af emissionskoefficienterne. Det vurderes at der også er ændret praksis ved udbringning af gylle med slæbeslanger, hvor det er blevet mere udbredt at bringe gylle ud på frossen jord i den sene vinter eller tidlige forår. Dette har medført en forskydning af udbringningssæsonen, hvor det meste af gyllen tidligere blev bragt ud i april og maj måned, mod nu hvor en større andel af gyllen bliver bragt ud i marts og april måned.

Vægtede emissionskoefficienter

Der er udregnet en gennemsnitlig emissionskoefficient for hver af teknikkerne: 1) slæbeslangeudbragt 2) græsnedfældet 3) sortjordnedfældet 4) staldforsuret og 5) SyreN forsuret (denne dækker også Harsø forsuret gylle). Disse koefficienter ses i Bilag 3. Emissionskoefficienterne er vægtet efter hvor meget gylle der køres ud med den pågældende teknik og med de tilhørende emissionskoefficienter for de måneder hvor udbringningen normalt finder sted med den pågældende teknik. Disse emissionskoefficienter tager altså hensyn til at nogle teknikker bliver benyttet på ét tidspunkt af året, mens andre teknikker bliver benyttet på andre tidspunkter, med der af følgende forskellige emissionskoefficienter. I Bilag 3 ses endvidere en gennemsnitlig emissionskoefficient for nedfældning af gylle i vintersæd. Her skal det bemærkes at denne teknologi ikke bliver anvendt i praksis. Derved er der tale om en estimeret emissionskoefficient, og derfor tæller denne teknik ikke med i det vægtede gennemsnit for nogle af de øvrige teknikker. Ved beregning af emissionskoefficienten for nedfældning i vintersæd er det forudsat at al det gylle, der overfladeudbringes til vintersæd i april måned, vil kunne nedfældes.

Emissionskoefficienter på ejendomsniveau

Nederst i Bilag 3 er der angivet samlede emissionskoefficienter for 4 typer "ejendomme" for både kvæg og svin. En referenceejendom hvor gyllen bliver udbragt i de måneder som angivet i det blå felt og med de tre konventionelle teknikker: 1) slæbeslangeudbringning 2) sortjordsnedfældning og 3) græsnedfældning. Andelen af gylle fordelt mellem de tre teknikker er fordelt som angivet i Bilag 3.

For ejendommen, hvor det er antaget at gyllen bliver staldforsuret, er det forudsat at gyllen bliver bragt ud med slæbeslanger på voksende afgrøder (også på græs), og at den der bliver nedfældet på sort jord, som lovgivningen i skrivende stund foreskriver. På et svinebrug med gylleforsuring i stalden bliver kun en meget lille andel af gyllen sortjordsnedfældet, og derfor er der ikke taget højde for denne andel i beregningerne. På kvægbrug forudsættes det derimod at al gylle udbragt i april og maj måned sortjordsnedfældes.

Ved udregning af emissionskoefficienten for ejendommen med SyreN- eller Harsø forsuring, er det forudsat at gyllen bliver bragt ud med slæbeslanger på voksende afgrøder (også på græs) og at den der bliver nedfældet på sort jord, som lovgivningen i skrivende stund foreskriver. På et svinebrug med SyreN- eller Harsø forsuring bliver kun en meget lille andel af gyllen sortjordsnedfældet og derfor er der ikke taget højde for denne andel i beregningerne. På kvægbrug forudsættes det derimod at al gylle udbragt i april og maj måned sortjordsnedfældes.

På ejendommen med nedfældning af gylle på vintersæd er det forudsat at den del af gyllen, der på referenceejendommen ville blive udbragt med slæbeslanger til vintersæd i april måned, bliver nedfældet med en skiveskærnedfælder i stedet. Den øvrige del af gyllen bliver bragt ud på samme måde som på referenceejendommen.

Bilag 3

Emissionskoefficienter for udbragt gylle 2011 (Total N)

Voksene afgrøder

Måned	Alfam emissionskoefficient			Emissionskoefficienter forsuring		% af udbragt gylle pr. måned	% overflade-udbragt af total	Overflade-udbragt - fordeling over året	% græs-nedfældning af total	Græs-nedfældning - fordeling over året	% sortjords-nedfældning af total	Sortjords-nedfældning - fordeling over året	% staldforsuret af total	Staldforsuret - fordeling over året	% SyreN-forsuret gylle af total	SyreN Forsuring - fordeling over året
	Voksene afgrøder	Græs-nedfældning	Sortjords-nedfældning	Staldforsuret	SyreN forsuret											
Februar	14,7	13,6	0,9	5,9	8,8	2	2	10,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0
Marts	15,3	14,2	0,9	6,1	9,2	16,5	5	26,3	5	15,2	5	12,8	0,5	12,5	1	20
April	16,3	15,5	1,0	6,5	9,8	41,5	6	31,6	5	15,2	27	69,2	1,5	37,5	2	40
Maj	14,8	17,3	1,2	5,9	8,9	17	6	31,6	7	21,2	3	7,7	0,5	12,5	0,5	10
Juni	9,6	18,5	1,2	14,8	18,5	7	0	0,0	6	18,2	0	0,0	0,5	12,5	0,5	10
Juli	3,5	18,6	1,2	14,8	18,6	7	0	0,0	6	18,2	0	0,0	0,5	12,5	0,5	10
August	22,0	18,6	1,2	8,8	13,2	4	0	0,0	1	3,0	3	7,7	0	0,0	0	0
September	20,8	18,1	1,2	8,3	12,5	5	0	0,0	3	9,1	1	2,6	0,5	12,5	0,5	10
Sum						100	19	100,0	33	100	39	100,0	4	100,0	5	100

Vægtet emissionskoefficient for slæbeslangeudbragt gylle	15,4
Vægtet emissionskoefficient for græsnedfældet gylle	17,1
Vægtet emissionskoefficient for sortjordsnedfældet gylle	1,1
Vægtet emissionskoefficient for staldforsuret gylle	8,7
Vægtet emissionskoefficient for SyreN forsuret gylle	11,6
Vægtet emissionskoefficient ved nedfældning af gylle i vintersæd	12,8

Referencesystem (ejendom uden brug af forsuring eller nedfældning i vintersæd)	9,0
Ejendom med brug af staldforsuring (forsuret gylle nedfældes på sort jord)	6,0
Ejendom med brug af SyreN-forsuring (forsuret gylle nedfældes på sort jord)	7,3
Nedfældning i vintersæd (her antages det at der benyttes en græsnedfælder til formålet)	8,5

Bilag 3

Emissionskoefficienter for udbragt gylle 2011 (Total N)

Voksende afgrøder

Måned	Alfam emissionskoefficient			Emissionskoefficienter forsuring		% af udbragt gylle pr. måned	% overflade-udbragt af total	Overflade-udbragt - fordeling over året	% græs-nedfældning af total	Græs-nedfældning - fordeling over året	% sortjords-nedfældning af total	Sortjords-nedfældning - fordeling over året	% staldforsuret af total	Staldforsuret - fordeling over året	% SyreN-forsuret gylle af total	Syren Forsuring - fordeling over året
	Voksende afgrøder	Græs-nedfældning	Sortjords-nedfældning	Staldforsuret	SyreN forsuret											
Februar	10,5	9,7	0,6	4,2	6,3	4	4	5,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0
Marts	11,0	10,1	0,7	4,4	6,6	20	13	17,8	0	0,0	5	25,0	1	25,0	1	50
April	11,7	11,1	0,7	4,7	7,0	50	41	56,2	1	100,0	5	25,0	2	50,0	1	50
Maj	10,6	12,4	0,8	4,2	6,4	11	10	13,7	0	0,0	0	0,0	1	25,0	0	0
Juni	6,9	13,2	0,9	10,6	13,2	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0
Juli	2,4	13,3	0,9	10,6	13,3	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0
August	15,7	13,3	0,9	6,3	9,4	10	0	0,0	0	0,0	10	50,0	0	0,0	0	0
September	14,8	13,0	0,9	5,9	8,9	4	4	5,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0
Oktober	13,3	11,9	0,8	5,3	8,0	1	1	1,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0
Sum						100	73	100,0	1	100	20	100,0	4	100,0	2	100

Vægtet emissionskoefficient for slæbeslangeudbragt gylle 11,4

Vægtet emissionskoefficient for græsnedfældet gylle 11,1

Vægtet emissionskoefficient for sortjordsnedfældet gylle 0,8

Vægtet emissionskoefficient for staldforsuret gylle 4,5

Vægtet emissionskoefficient for SyreN forsuret gylle 6,8

Vægtet emissionskoefficient ved nedfældning af gylle i vintersæd 8,1

Referencesystem (ejendom uden brug af forsuring eller nedfældning i vintersæd) 8,6

Ejendom med brug af staldforsuring (forsuret gylle nedfældes på sort jord) 1,7

Ejendom med brug af SyreN-forsuring (forsuret gylle nedfældes på sort jord) 3,7

Nedfældning i vintersæd (her antages det at der benyttes en græsnedfælder til formålet) 6,2

RESUME

Nærværende rapport er udarbejdet af forskere ved Aarhus Universitet på foranledning af NaturErhvervstyrelsen. Rapporten giver en samlet oversigt over miljøteknologier der benyttes inden for det primære jordbrugserhverv, herunder deres miljøeffekt, omkostninger samt omkostningseffektivitet. Rapporten anvendes af NaturErhvervstyrelsen til prioritering af ansøgninger i anledning af Fødevareministeriets miljøteknologiordning omfattende tilskud til projekter vedrørende investeringer i grønne processer og teknologier i den primære jordbrugsproduktion.